

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки 15.04.01 «Машиностроение»
 Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование напряженно-деформированного состояния детали «Пружина» методом конечных элементов

УДК 517.962:621.814

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM91	Тай Хуэймин		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Отделение материаловедения ИШНПТ, доцент	Екатерина Александровна Алфёрова	к.ф.-м.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Отделение социально-гуманитарных наук ШБИП, доцент	Кашук Ирина Вадимовна	к.т.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Отделение общетехнических дисциплин ШБИП, старший преподаватель	Скачкова Лариса Александровна			

Консультант – лингвист ОИЯ ШБИП по разделу «Раздел ВКР на иностранном языке »

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Отделение иностранных языков ШБИП, доцент	Айкина Татьяна Юрьевна	к.ф.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
15.04.01 Машиностроение, доцент ОМ ИШНПТ	Мартюшев Никита Владимирович	к.т.н., доцент		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная Школа новых производственных технологий
 Направление подготовки 15.04.01 «Машиностроение»
 Отделение материаловедения школы (НОЦ)

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП 15.04.01

_____ Мартюшев Н.В..

«___» _____ 2021

ЗАДАНИЕ **на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

магистерской диссертации
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ91	Тай Хуэймин

Тема работы:

Исследование напряженно-деформированного состояния детали «Пружина» методом конечных элементов
Утверждена приказом директора ИШНПТ (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	05.06.2021
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Чертеж детали, варианты материалов для изготовления детали. Проблема: в процессе работы деталь «Пружина» разрушается.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1) Выполнение литературного обзора по влиянию термообработки на различные группы пружинных сталей; 2) Проведение расчеты напряженно-деформированного состояния детали «Пружина» с использованием метода конечных элементов в программном пакете ANSYS (для всех материалов заменителей указанных на чертеже детали); 3) Анализ распределения нагрузок в детали (из разных

	материалов заменителей) и сравнение с реальными данными; 4) Создание технологического процесса изготовления детали «Пружина»; 5) Выбрал режим термообработки для детали «Пружина».
Перечень графического материала	Демонстрационный материал (презентация в MS PowerPoint)
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кащук Ирина Вадимовна
Социальная ответственность	Скачкова Лариса Александровна
Раздел ВКР на иностранном языке	Айкина Татьяна Юрьевна
Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке: The effect of heat treatment on the properties of steel	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	10.10.19
---	----------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Отделение материаловедения ИШНПТ, доцент	Алфёрова Е.А.	к.ф.-м.н., доцент		10.10.2019

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ91	Тай Хуэймин		10.10.2019

Результаты обучения

Направление 15.04.01 Машиностроение

ООП: Автоматизация технологических процессов и производств в машиностроении

Код компетенции СУОС	Наименование компетенции СУОС
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способность осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	Способность управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла, получать и обрабатывать информацию из различных источников с использованием современных информационных технологий, применять прикладные программные средства при решении практических вопросов с использованием персональных компьютеров с применением программных средств общего и специального назначения в том числе в режиме удаленного доступа
УК(У)-3	Способность организовать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способность применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия (-ий), анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-5	Способность на научной основе организовывать свой труд, самостоятельно оценивать результаты своей деятельности, владеть навыками самостоятельной работы в сфере проведения научных исследований, создавать и редактировать тексты профессионального назначения
УК(У)-6	Способность определить и реализовать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки, а также использовать приемы первой помощи, методы защиты в условиях чрезвычайных ситуаций
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способность формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки
ОПК(У)-2	Способность применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы
ОПК(У)-3	Способность использовать иностранный язык в профессиональной сфере
ОПК(У)-4	Способность осуществлять экспертизу технической документации
ОПК(У)-5	Способность организовывать работу коллективов исполнителей, принимать исполнительские решения в условиях спектра мнений, определять порядок выполнения работ, организовывать в подразделении работы по совершенствованию, модернизации, унификации выпускаемых изделий, и их элементов, по разработке проектов стандартов и сертификатов, обеспечивать адаптацию современных версий систем

	управления качеством к конкретным условиям производства на основе международных стандартов
ОПК(У)-6	Способность к работе в многонациональных коллективах, в том числе при работе над междисциплинарными и инновационными
ОПК(У)-7	Способность обеспечивать защиту и оценку стоимости объектов интеллектуальной деятельности
ОПК(У)-8	Способность проводить маркетинговые исследования и подготавливать бизнес-планы выпуска и реализации перспективных и конкурентоспособных изделий в области машиностроения
ОПК(У)-9	Способность обеспечивать управление программами освоения новой продукции и технологий, проводить оценку производственных и непроизводственных затрат на обеспечение требуемого качества продукции, анализировать результаты деятельности производственных подразделений
ОПК(У)-10	Способность организовывать работу по повышению научно-технических знаний работников
ОПК(У)-11	Способность подготавливать отзывы и заключения на проекты стандартов, рационализаторские предложения и изобретения в области машиностроения
ОПК(У)-12	Способность подготавливать научно-технические отчеты, обзоры, публикации по результатам выполненных исследований в области машиностроения
ОПК(У)-13	Способность разрабатывать методические и нормативные документы, предложения и проводить мероприятия по реализации разработанных проектов и программ в области машиностроения
ОПК(У)-14	Способность выбирать аналитические и численные методы при разработке математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов в машиностроении
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способность разрабатывать технические задания на проектирование и изготовление машин, приводов, оборудования, систем и нестандартного оборудования и средств технологического оснащения, выбирать оборудование и технологическую оснастку
ПК(У)-2	Способность разрабатывать нормы выработки и технологические нормативы на расход материалов, заготовок, топлива и электроэнергии в машиностроении
ПК(У)-3	Способность оценивать технико-экономическую эффективность проектирования, исследования, изготовления машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов, принимать участие в создании системы менеджмента качества на предприятии
ПК(У)-4	Способность подготавливать заявки на изобретения и промышленные образцы, организовывать работы по осуществлению авторского надзора при изготовлении, монтаже, наладке, испытаниях и с даче в эксплуатацию выпускаемых изделий и объектов машиностроения

ПК(У)-5	Способность разрабатывать планы и программы организации инновационной деятельности на предприятии, оценивать инновационные и технологические риски при внедрении новых технологий, организовывать повышение квалификации и тренинг сотрудников подразделений в области инновационной деятельности и координировать работу персонала при комплексном решении инновационных проблем в машиностроении
ПК(У)-6	Способность разрабатывать мероприятия по комплексному использованию сырья, по замене дефицитных материалов и изысканию способов утилизации отходов машиностроительного производства
ПК(У)-7	Способность организовать развитие творческой инициативы, рационализации, изобретательства, внедрение достижений отечественной и зарубежной науки, техники, использование передового опыта, обеспечивающих эффективную работу подразделения, предприятия
ПК(У)-8	Способность организовать и проводить научные исследования, связанные с разработкой проектов и программ, проводить работы по стандартизации технических средств, систем, процессов оборудования и материалов
ПК(У)-9	Способность разрабатывать физические и математические модели исследуемых машин, приводов, систем, процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере, разрабатывать методики и организовывать проведение экспериментов с анализом их результатов
ПК(У)-10	Способность и готовность использовать современные психолого-педагогические теории и методы в профессиональной деятельности
ПК(У)-11	Способность подготавливать технические задания на разработку проектных решений, разрабатывать эскизные, технические и рабочие проекты технических разработок с использованием средств автоматизации проектирования и передового опыта разработки конкурентоспособных изделий, участвовать в рассмотрении различной технической документации, подготавливать необходимые обзоры, отзывы, заключения в области профессиональной деятельности
ПК(У)-12	Способность составлять описания принципов действия и устройства проектируемых изделий и объектов с обоснованием принятых технических решений в области профессиональной деятельности
ПК(У)-13	Способность применять новые современные методы разработки технологических процессов изготовления изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности с определением рациональных технологических режимов работы специального оборудования в машиностроении

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 155 с., 41 рис., 31 табл., 15 источников.

Ключевые слова: термообработка, пружинная сталь, эквивалентное напряжение, нагрузка, разрушение.

Объектом исследования является моделирование напряженно-деформированного состояния детали «Пружина» при нагрузке, разработка технологии изготовления детали «Пружина» и подбор режимов термообработки.

Цель работы – состоит в том, чтобы выбрать наиболее подходящий материал, режимы термообработки, разработать технологию изготовления детали «Пружина».

В результате магистерской диссертации был выполнен литературный обзор по влиянию термообработки на различные группы пружинных сталей; определена максимальная нагрузка пружины из различных материалов; получено место разрушения пружины при нагрузке; выбран наиболее подходящий материал для изготовления детали и создан технологический процесс изготовления детали «Пружина».

В будущем планируется решить проблему, что пружина разрушится в состоянии работа.

Оглавление

Введение.....	8
1 Литературный обзор.....	11
1.1 Термообработка.....	11
1.2 Характеристики и применения пружинной стали.....	14
1.3 Влияние термообработки на механические свойства пружинной стали.....	14
2 Исследовательская часть.....	20
2.1 Определения, обозначения, сокращения.....	20
2.2 Подготовка конечно-элементной модели.....	21
2.3 Настройка материалов, создание 3D модели и сетки в ANSYS.....	22
2.4 Определение максимальной нагрузки пружины.....	24
2.5 Анализ нормального напряжения пружины при максимальной нагрузке.....	27
2.6 Анализ направленной деформаций пружины при максимальной нагрузке.....	33
2.7 Анализ напряжения в сечении.....	35
2.7.1 Анализ эквивалентного напряжения в поперечном сечении.....	35
2.7.2 Анализ эквивалентного и нормального напряжения в продольном сечении.....	38
2.8 Анализ напряжений в радиусной части пазов.....	42
3 Технологическая часть.....	53
3.1 Исходные данные.....	53
3.2 Анализ технологичности конструкции детали.....	54
3.3 Определение типа производства.....	54
3.4 Выбор исходной заготовки.....	55
3.5 Разработка маршрута технологии изготовления детали «Пружина».....	57
3.6 Построение размерной схемы и граф технологических цепей.....	60
3.7 Расчет допусков, припусков и технологических размеров.....	61
3.7.1 Допуски на конструкторские размеры.....	61
3.7.2 Допуски на технологические размеры.....	61
3.7.2.1 Определение допусков на осевые технологические размеры.....	61
3.7.2.2 Определение допусков на диаметральные технологические размеры.....	62
3.7.3 Проверка обеспечения точности конструкторских размеров.....	62
3.7.4 Расчет припусков на диаметральные размеры.....	64
3.7.5 Расчет припусков на осевые размеры.....	64
3.7.6 Расчёт технологических размеров.....	65
3.8 Выбор средств технологического оснащения.....	68
3.9 Расчет режимов резания.....	69
3.9.1 Токарная обработка.....	69
3.9.2 Фрезерная обработка.....	83
3.10 Расчет основного времени.....	85
Заключение.....	86
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	89
5 Социальная ответственность.....	120
6 Раздел ВКР на иностранном языке.....	141
Список литературы.....	156

Введение

В области машиностроения, пружины – одна из самых распространенных деталей, обычно изготовлены из пружинной стали. Типы пружин сложны и разнообразны, по форме разделяется на спиральные пружины, спиральные пружины, листовые рессоры и пружины особой формы. По характеру силы пружины можно разделить на пружины растяжения, пружины сжатия, пружины кручения и пружины изгиба.

В данной работе, моей деталью является «пружина», которая представляет собой пружины особой формы и пружины сжатия. Она работает в условиях стационарных нагрузок (сжатие) и служит для выбора зазоров.

Из того, что данная деталь (пружина сжатия) имеет сложную форму, и сложно обрабатывается, необходимо использовать обрабатывающий центр с ЧПУ.

По условиям работы она должна обладать высокой усталостной прочностью, пределом упругости и пределом текучести. Вместе с тем, она должна иметь необходимый запас пластичности, стойкость к релаксации напряжений и сопротивляться хрупкому разрушению. Она должна обеспечить достаточную упругую деформацию, чтобы выдерживать большие нагрузки и поглощать энергию удара. Её твёрдость должна достигать *35–42 HRC*.

В связи с чем, рессорно-пружинные сталей, подвергают закалке с последующим среднетемпературным отпуском для получения в структуре троостита. Троостит представляет собой смесь феррита и цементита, обычно образуется при температуре 550-600°C путем изотермического превращения

аустенита, и имеет высокую твердостью. Для сталей, используемых для пружин, необходимо обеспечить сквозную прокаливаемость, чтобы получить структуру троостита по всему сечению.

В процессе эксплуатации происходило разрушение пружины. Предположительно причиной разрушения была проблема с термообработкой. Вместе с тем, на чертеже детали указан ряд материалов, из которых может изготавливаться пружина (материалы-заменители). Эти материалы отличаются по своим физико-механическим характеристикам, режимам и результатам термообработки. В связи с чем, данная работа имеет практическую значимость и актуальность.

Актуальность исследования заключается в том, что необходимо решить практическую задачу по обоснованному выбору наиболее оптимального материала (из ряда предложенных на чертеже материалов заменителей) по критерию обеспечения целостности детали в процессе работы.

Объектом исследования является моделирование напряженно-деформированного состояния детали «Пружина» при нагрузке, разработка технологии изготовления детали «Пружина» и подбор режимов термообработки.

Цель исследования состоит в том, чтобы выбрать наиболее подходящий материал, режимы термообработки, разработать технологию изготовления детали «Пружина».

Для реализации поставленной цели необходимо решить следующие **задачи:**

1)Провести литературный обзор по влиянию термообработки на различные группы пружинных сталей;

2)Провести расчеты напряженно-деформированного состояния детали «Пружина» с использованием метода конечных элементов в программном пакете ANSYS (для всех материалов заменителей указанных на чертеже детали);

3)Проанализировать распределение нагрузок в детали (из разных материалов заменителей) и сравнить с реальными данными;

4)Разработать технологического процесса изготовления детали «Пружина»;

5) Основываясь на результатах работы предложить материал и выбрать режимы термообработки для детали «Пружина».

1 Литературный обзор

1.1 Термообработка

По сравнению с другими методами обработки, термическая обработка обычно не меняет форму и общий химический состав детали, но меняет внутреннюю микроструктуру детали или меняет химический состав поверхности детали, чтобы улучшать характеристики детали. Термическая обработка стали относится к технологии, при которой используются соответствующие методы нагрева, сохранения тепла и технологии охлаждения, во время сталь в твердом состоянии для получения ожидаемой структуры и характеристик. [1]

Чтобы получить наилучшие характеристики, термообработка играет важную роль в полном раскрытии потенциала материалов и достижении максимальной экономической выгоды. Обычная термическая обработка называется отжигом, нормализацией, закалкой и отпуском.

1.2 Характеристики и применения пружинной стали

На чертеже детали приведен ряд сталей, которые могут быть использованы для изготовления детали «Пружина». Данные стали 55C2A; 50XГ; 60C2A; 40X и 30XГТА, они являются пружинной и легированной сталью, их составы и классификация сталей указаны в таблице 1.1 [2;3].

Таблица 1.1– Химический состав и классификация сталей

Марка стали	Массовая доля элементов, %				Классификация
	Углерод	Кремни	Марганец	Хром	
55C2A	0,53-0,58	1,5-2,0	0,60-0,90	Не более 0,30	конструкционная рессорно-пружинная
60C2A	0,58-0,63	1,6-2,0	0,60-0,90	Не более 0,30	конструкционная рессорно-пружинная
50XГ	0,46-0,54	0,17-0,37	0,70-1,00	0,90-1,20	конструкционная рессорно-пружинная
40X	0,36-0,44	0,17-0,37	0,50-0,80	0,80-1,10	конструкционная легированная
30XГСА	0,28-0,34	0,9-1,2	0,80-1,10	0,80-1,10	конструкционная легированная

Сталь 55C2A обладает такими характеристиками, как высокая прочность, хороший предел упругости, высокий коэффициент текучести, хорошая вязкость после термообработки, низкая пластичность при холодной деформации, хорошая обрабатываемость, высокая закаливаемость и т. Д. Ее критический диаметр закали: составляет около 25 ~ 57 мм в масле; а в воде около 44 ~ 88 мм. Недостатки: большое количество включений в стали, сложная прокатка, и высокая склонность к обезуглероживанию. Сталь 55C2A подходит для изготовления важных пружин, работающих в условиях высоких нагрузок, таких как плоские пружины со средней нагрузкой, например, железнодорожных транспортных средств, автомобилей и тракторов, спиральных пружин диаметром менее 25 мм, буферных пружин и предохранительных клапанов цилиндров.

Сталь 60C2A является наиболее широко используемой легированной пружинной сталью, и ее выпуск составляет около 80% от выпуска легированной пружинной стали. Ее прочность, закаливаемость и устойчивость против отпуска выше, чем у углеродистой пружинной стали. Ее

критическое упрочнение в масле составляет около 37 ~ 73 мм. Ее рабочая температура составляет до 250 °С. Недостатком является то, что он имеет большую тенденцию к обезуглероживанию. Сталь 60С2А подходит для изготовления листовых пружины толщиной менее 10 мм и спиральных пружины с размером поперечного сечения менее 25 мм.

Пружинная сталь обычно подвергается дробеструйной обработке после термообработки, цель которой состоит в создании остаточного напряжения сжатия на поверхности пружины для повышения ее усталостной прочности.

В качестве наиболее важных требований к рессорно-пружинным сталям следует выделить высокий предел текучести, что способствует высоким упругим свойствам, высокий предел прочности и высокий предел выносливости. Необходимо, чтобы пластичность была пониженная (5–10 % по относительному удлинению и 20–35 % по относительному сужению).

Пружины и другие упругие элементы представляют собой важнейшие детали в машинах и механизмах. Особенность их работы заключается в том, что значительные нагрузки (статические и ударные) у них приводят только к упругой деформации. Пружинные стали должны характеризоваться высокими значениями пределов упругости, выносливости, текучести, а также пластичностью, высоким сопротивлением хрупкому разрушению и стойкостью к релаксации напряжений.

1.3 Влияние термообработки на механические свойства пружинной стали

В настоящее время масляные закаленные и отпущенные пружины широко используются для тяжелых пружин, в которых высокие механические свойства являются основным фактором конструкции. Основными требованиями пружинной стали являются высокий предел текучести, высокий предел пропорциональности и высокая усталостная прочность. Эти желательные свойства пружины могут быть достигнуты, во-первых, более высоким содержанием углерода или с помощью подходящих легирующих элементов, а во-вторых, термообработкой. Пружинные стали используются в жестких, высокопрочных условиях. Для достижения этих свойств, пружины требуется закалка и отпуск.

В закаленном состоянии сталь должна содержать 100% мартенсита для достижения максимального предела текучести, но она также очень хрупкая, и, следовательно, закаленная сталь используется для очень немногих инженерных применений. В процессе отпуска, свойства закаленной стали могут измениться, чтобы снизить твердость и постепенно повысить пластичность и ударную вязкость. Таким образом, образование мартенсита обеспечивает основу для получения очень широкого диапазона комбинаций механических свойств. Полученные микроструктуры представляют собой бейнитные или карбидные осадки в матрице из феррита в зависимости от температуры отпуска.

В зависимости от типов применения пружины изготавливаются из углеродистых сталей, кремниевых и марганцевых сталей,

кремниево-марганцевых сталей и нержавеющей сталей.

В статье [4] автор использовал высокопрочную пружинную сталь(50ХГ) для эксперимента. В качестве основных методов термообработки использовались процессы закалки и отпуска. Полученные микроструктуры после закалки выглядят как мартенсит с небольшим количеством остаточного аустенита. После процесса отпуска оптимальные механические свойства обнаруживаются при бейнитной структуре. В процессе закалки сталь нагревали до температуры аустенита 870 °С и закаливали в масле. После этого отпуск проводили при температуре 450 °С, увеличенной на 50 °С до 550 °С в течение каждого интервала времени отпуска (1 ч, 2 ч и 3 ч). В этой исследовательской работе до и после отпуска при комнатной температуре проводились микроструктурные исследования, испытания на твердость, растяжение и усталость.

Результаты экспериментов показали, что механические свойства стали 50ХГ значительно изменились при отпуске. При увеличении времени и температуры отпуска, постепенно уменьшаются твердость и предел прочности при растяжении, а пластичность улучшается. Пиковая точка предела текучести подтверждена при температуре отпуска 450 °С. Максимальная усталостная долговечность наблюдается при температуре от 400 °С до 450 °С. Со структурной точки зрения при закалке в масле образуется больше остаточного аустенита, чем при закалке в воде. В процессах отпуска феррит и карбид эпсилон образуются при температуре от 400 °С до 450 °С, а сфероидный цементит образуется и растет при температуре выше 450 °С.

В работе [5], авторы проводили эксперимент, чтобы исследовать влияние термообработки на механические свойства стали 55SiCrV. Кривая ССТ и кривая роста зерен аустенита стали 55SiCrV были получены путем испытания термического моделирования, и был определен диапазон выбора температуры закалки; двухфакторный ортогональный тест был использован для изучения влияния параметров термообработки на ее механические свойства и микроструктуру.

Результаты показывают, что в диапазоне температур закалки от 870 до 930 °C, по мере увеличения температуры, прочность на разрыв стали 55SiCrV сначала увеличивается, а затем уменьшается; с повышением температуры отпуска прочность постепенно уменьшается, а пластичность увеличивается. В процессе закалки 900 °C + отпуска 410 °C сталь 55SiCrV представляет собой отпущенный троостит, состоящий из игольчатого феррита и карбида M_3C , который обладает хорошими усталостными характеристиками и характеристиками снижения эластичности.

Кроме этого, ученые исследовали влияние режимов термической обработки на стали 60C2A. В статье [6] А. В. Титовым в качестве объекта изучения рассмотрена пружина сжатия из стали 60C2A (с диаметром проволоки 2,5 мм), подвергнутая термической обработке в различных режимах. Сталь 60C2A подвергалась термообработке в режиме закалки (с нагревом до 860 °C и охлаждением в масле) и отпуска (выдержка в печи с температурой 420 °C на протяжении 30 мин). Микроструктура стали представлена игольчатым трооститом (ферритокарбидной смесью) с

присутствием остаточного аустенита, обеспечивающего твердость материала 40 HRC.

Термообработка стали 60C2A в режиме закалки (нагрев до 860 °C в течение 10 мин с последующим охлаждением в масле) и отпуска (выдержка в печи при температуре 460 °C на протяжении 75 мин с последующим охлаждением на воздухе) привела к формированию микроструктуры, заключающейся в мелкодисперсной структуре сорбита отпуска (ферритокарбидная смесь), обеспечивающей твердость 44 HRC.

Оба указанных режима термической обработки стали считаются благоприятными режимами, позволяющими изготовить пружины ответственного назначения. При повышении скорости охлаждения во время закалки в воде возникают большие внутренние напряжения, и образец разрушается. При снижении температуры отпуска до 350 °C образуется более хрупкая структура отпущенного мартенсита, что может иметь важное значение для эксплуатационных свойств пружины.

А для данных сталей: 55C2A; 50ХГ; 60C2A;40X и 30ХГТА, их механические свойства и режимы термообработки указаны в таблице 1.2 и 1.3[2;3].

Таблица 1.2 – Механические свойства после термообработки

Марка стали	Механические свойства, не менее				
	Предел текучести н/мм ²	Временное сопротивление н/мм ²	Относительное удлинение %	Относительное сужение %	Твёрдость НВ
55C2A	1175	1270	6	30	241
50ХГ	1175	1270	7	35	269
60C2A	1375	1570	6	20	269
40X	785	980	10	45	-

30ХГСА	835	1080	10	45	-
--------	-----	------	----	----	---

Таблица 1.3 – Режим термообработки сталей

Марка стали	Режим термообработки				
	Температура Заковки °C	Закалочная среда		Температура отпуска, °C	
55C2A	870	Масло или вода		470	
50XГ	850	Масло		470	
60C2A	870	Масло		420	
	Термообработка				
	Закалка			Отпуск	
	Температура °C		Среда охлаждения	Температура °C	Среда охлаждения
	1-й закалки или нормализации	2-й закалки			
40X	860	-	Масло	500	Вода или масло
30XГСА	880	-	масло	540	Вода или масло

Термическая обработка стали в основном изменяет внутренний химический состав, структуру, размер зерна, содержание аустенита, мартенсита и феррита в стали, что влияет на механические свойства стали.

Поэтому температура закалки, среда охлаждения, температура отпуска, время нагрева и охлаждения, эти являются важными факторами результата термообработки. Чтобы получить ожидаемые механические свойства стали, надо выбрать наиболее разумный метод термообработки с помощью контрольных экспериментов.

Данная деталь (пружина сжатия) имеет сложную форму, и она должна обладать высокой усталостной прочностью, высоким пределом упругости и высоким пределом текучести, чтобы обеспечить достаточную упругую деформационную, выдерживать большие нагрузки и поглощать энергию удара, поэтому выбирается горячекатаный круглый прокат и применяется закалка и

отпуск средней температуры.

При сравнении механических свойств данных сталей после термообработки, сталь 60С2А обладает хорошими механическими свойствами, и соответствует требованию данной детали. Таким образом, целесообразно выбрать сталь 60С2А для изготовления детали «Пружина».

2 Исследовательская часть

В этой части проводится расчет только для сталей 60С2А, 40Х и 30ХГСА, так как они имеют лучшие характеристики (указано в таблице 2.1) .

Таблица 2.1 – Характеристики сталей после термообработки

Марка стали	Механические свойства, не менее				
	Предел текучести н/мм ²	Временное сопротивление н/мм ²	Относительное удлинение %	Относительное сужение %	Твёрдость НВ
60С2А	1375	1570	6	20	269
40Х	785	980	10	45	-
30ХГСА	835	1080	10	45	-

2.1 Определения, обозначения, сокращения

Эквивалентное напряжение ($\sigma_{\text{экв}}$) – напряжение, под действием которого материал в условиях простого растяжения-сжатия оказывается в равноопасном состоянии с рассматриваемым сложным напряженным состоянием. В программном обеспечении ANSYS напряжение по фон Мизесу является критерием текучести, а значение критерия текучести обычно называется эквивалентным напряжением.

Нормальное напряжение ($\sigma_{\text{нор}}$) – расположенные перпендикулярно к сечению элемента. Нормальные напряжения могут быть как растягивающими так и сжимающими.

Полная деформация ($d_{\text{пол}}$) – это сумма линейной и угловой деформации.

Направленная деформация(d) – это деформация по направлению.

Для определения эквивалентного напряжения используется формула:

$$\sigma_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} \quad (2-1)$$

Где:

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – главное напряжение.

Наибольшая линейная деформация определяется по формуле:

$$\varepsilon_{\text{max}} = \frac{1}{E} \cdot [\sigma_1 - \mu \cdot (\sigma_2 + \sigma_3)] \quad (2-2)$$

Где:

σ – напряжение, ε – деформация, E – модуль Юнга, μ – коэффициент Пуассона.

Согласно закону Гука:

$$\frac{\sigma}{\varepsilon} = E \quad (2-3)$$

Где:

σ – напряжение, ε – деформация, E – модуль Юнга.

2.2 Подготовка конечно-элементной модели

Данная деталь является пружиной, она работает в условиях стационарных нагрузок на сжатие и служит для выбора зазоров.

Чтобы определить максимальную нагрузку, которую могут выдержать пружины из различных материалов, а также анализировать напряжение и деформацию пружины в рабочем состоянии, мы используем метод анализа конечных элементов ansys для моделирования состояния пружины при нагрузке, что имеет большое значение для понимания, как пружина работает.

2.3 Настройка материалов, создание 3D модели и сетки в ANSYS

Перед расчетом необходимо найти свойства различных материалов (показаны в таблице 2.2), которые требуется ansys и настроить их правильно в ansys (на рисунке 2.1а, б, в), затем создать 3D модели пружины по данным чертежом (на рисунке 2.2).

Таблица 2.2 – Свойства материалов

Материал	Модуль упругости, МПа	Коэффициент Пуассона	Плотность, Кг/М ³
Сталь 60С2А	$2,12 \cdot 10^5$	0,3	7680
Сталь 40Х	$2,24 \cdot 10^5$	0,3	7820
Сталь 30ХГСА	$2,15 \cdot 10^5$	0,3	7850



Properties of Outline Row 5: Сталь 60C2A			
	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	 Density	7680	kg m ⁻³
3	 Isotropic Elasticity		
4	Derive from	Young's Modulus and P...	
5	Young's Modulus	2.12E+11	Pa
6	Poisson's Ratio	0.3	
7	Bulk Modulus	1.7667E+11	Pa
8	Shear Modulus	8.1538E+10	Pa

Рисунок 2.1а – Схема настройки свойств материала сталь 60С2А



Properties of Outline Row 4: сталь 40х			
	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	 Density	7820	kg m ⁻³
3	 Isotropic Elasticity		
4	Derive from	Young's Modulus and P...	
5	Young's Modulus	2.14E+11	Pa
6	Poisson's Ratio	0.3	
7	Bulk Modulus	1.7833E+11	Pa
8	Shear Modulus	8.2308E+10	Pa

Рисунок 2.1б – Схема настройки свойств материала сталь 40Х

Properties of Outline Row 3: Сталь 30ХГСА			
	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	Density	7850	kg m ⁻³
3	Isotropic Elasticity		
4	Derive from	Young's Modulus and P...	
5	Young's Modulus	2.15E+11	Pa
6	Poisson's Ratio	0.3	
7	Bulk Modulus	1.7917E+11	Pa
8	Shear Modulus	8.2692E+10	Pa

Рисунок 2.1в – Схема настройки свойств материала сталь 30ХГСА

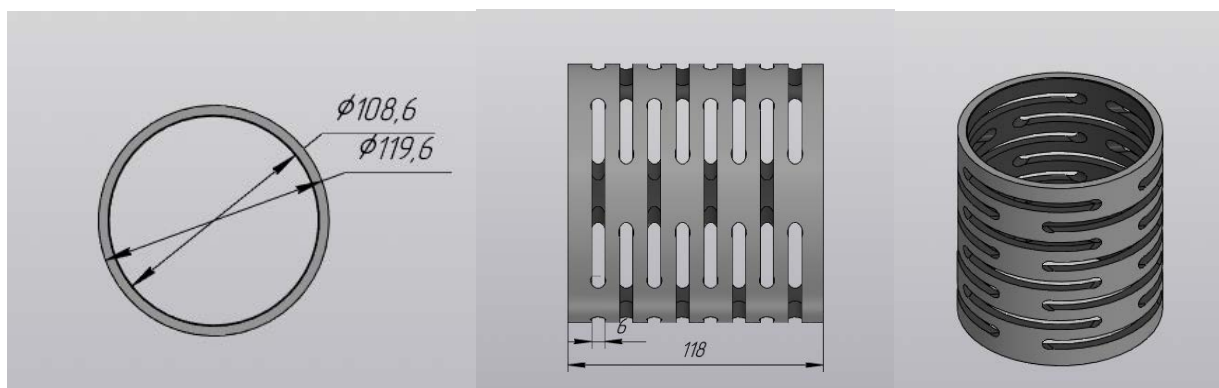


Рисунок 2.2 –3D модель пружины

После создания 3D модель пружины, чтобы проводить имитированный анализ в ANSYS, нужно создать сетку (mesh) для 3D модели пружины. Модель разбита на 85072 элементов (на рисунке 2.3 а,б).

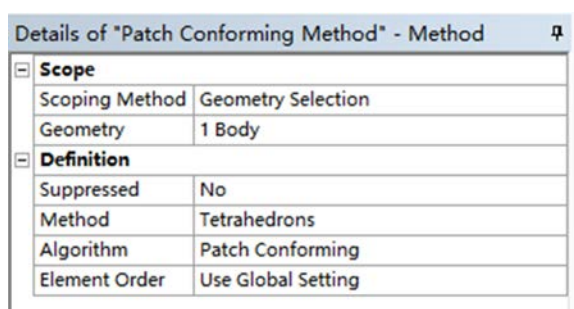


Рисунок 2.3а – Схема настройки сетки (mesh)

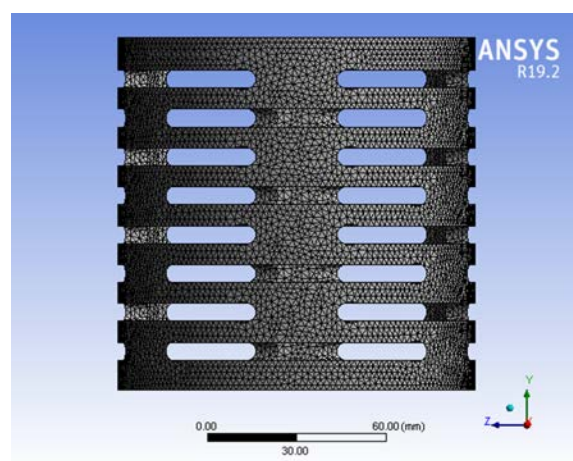


Рисунок 2.3б – Схема 3D модели пружины с сеткой

2.4 Определение максимальной нагрузки пружины

Максимальная нагрузка – нагрузка, которую пружина может выдержать.

Сначала установим опору и нагрузку для модели согласно чертежу, на рисунке 2.4, нагрузка (Force) на верхней поверхности, опора (Displacement) на нижней поверхности, которая является неподвижной.

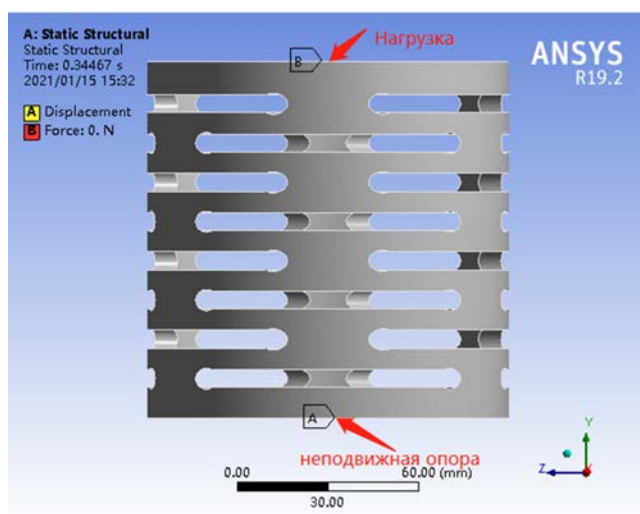


Рисунок 2.4 – Схема настройки опоры и нагрузки

В процессе определения максимальной нагрузки пружины, мы постоянно изменяем нагрузку, прилагаемую к пружине, и сравниваем полученное максимальное эквивалентное напряжение с пределом текучести материала (в таблице 2.3), чтобы получить максимальную нагрузку, которую может выдержать пружина из различных материалов (стали 60С2А, 40Х, 30ХГСА.). Полученные результаты указаны в таблице 2.4. Когда определяется максимальную нагрузку, которую может выдержать пружина, также проводится расчёт деформации пружины при максимальной нагрузке. Максимальное эквивалентное напряжение и максимальная полная деформация пружины при максимальной нагрузке указаны на рисунке 2.5 а, б,

В.

Таблица 2.3 – Предел текучести материалов

Материал	Сталь 60С2А	Сталь 40Х	Сталь 30ХГСА
Предел текучести, МПа	1375	785	835

Таблица 2.4 –Максимальная нагрузка пружины

Материал	Сталь 60С2А	Сталь 40Х	Сталь 30ХГСА
Максимальная нагрузка, н	13421	7662,1	8150,1

По данным таблицы (2.4), пружина из стали 60С2А выдерживает большую нагрузку.

Мы также рассчитаем максимальную полную деформацию пружин из разных материалов при разных нагрузках (в таблице 2.4).

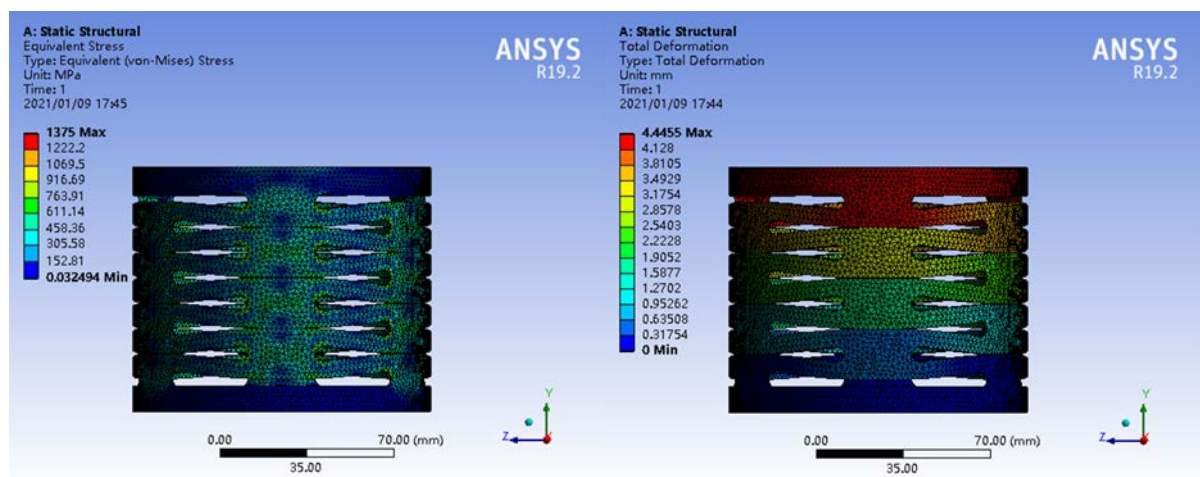


Рисунок 2.5 а) – Максимальное эквивалентное напряжение и максимальная полная деформация пружины стали 60С2А при максимальной нагрузке (13421Н)

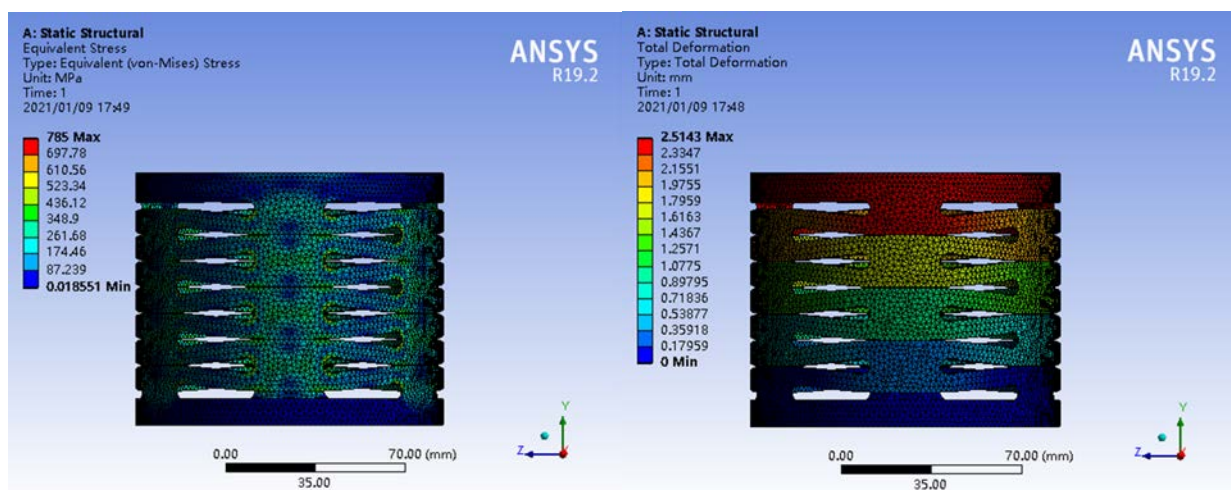


Рисунок 2.5 б) – Максимальное эквивалентное напряжение и максимальная полная деформация пружины стали 40X при максимальной нагрузке (7662,1Н)

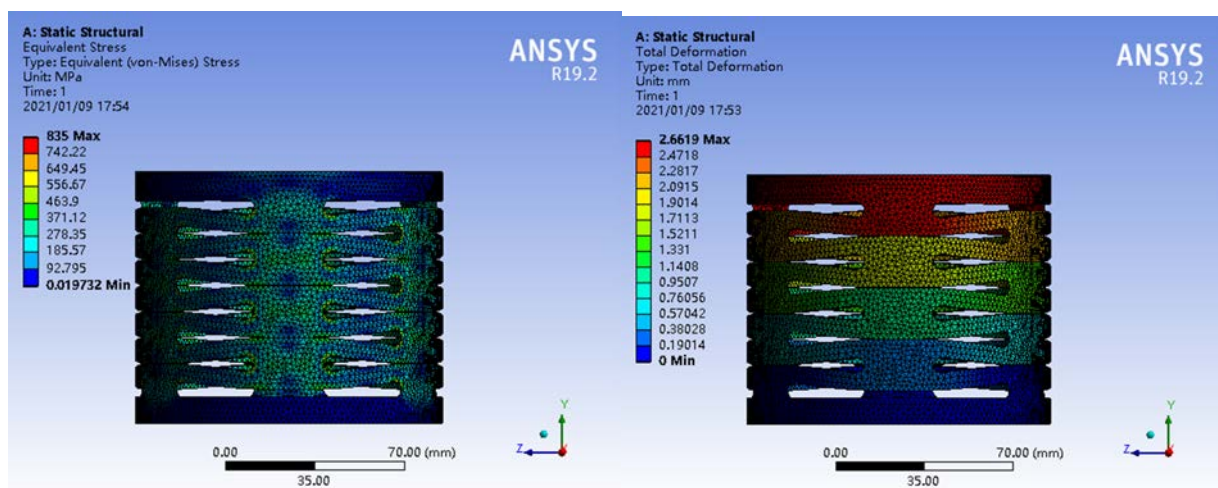


Рисунок 2.5 в) – Максимальное эквивалентное напряжение и максимальная полная деформация пружины стали 30XГСА при максимальной нагрузке (8510,1Н)

Таблица 2.5 – Максимальная полная деформация при различных нагрузках

Нагрузка, н	$d_{\text{мак}}$ мм Сталь60C2A	$d_{\text{мак}}$ мм Сталь40X	$d_{\text{мак}}$ мм Сталь 30XГСА
1000	0,33124	0,328	0,32662
2000	0,66247	0,656	0,65323
3000	0,99371	0,984	0,97985
4000	1,3249	1,3126	1,3065
5000	1,6562	1,6407	1,6331
6000	1,9874	1,9689	1,9597
7000	2,3187	2,297	2,2863

8000	2,6499	-	2,6129
9000	2,9811	-	-
1000	3,3124	-	-
11000	3, 6436	-	-
12000	3,9748	-	-
13000	4,3061	-	-
14000	-	-	-

- пружина разрушилась

Когда нагрузка, прилагаемая к пружине, превышает максимальную нагрузку, пружина разрушится.

Строится график по данным таблицы, на рисунке 2.6.

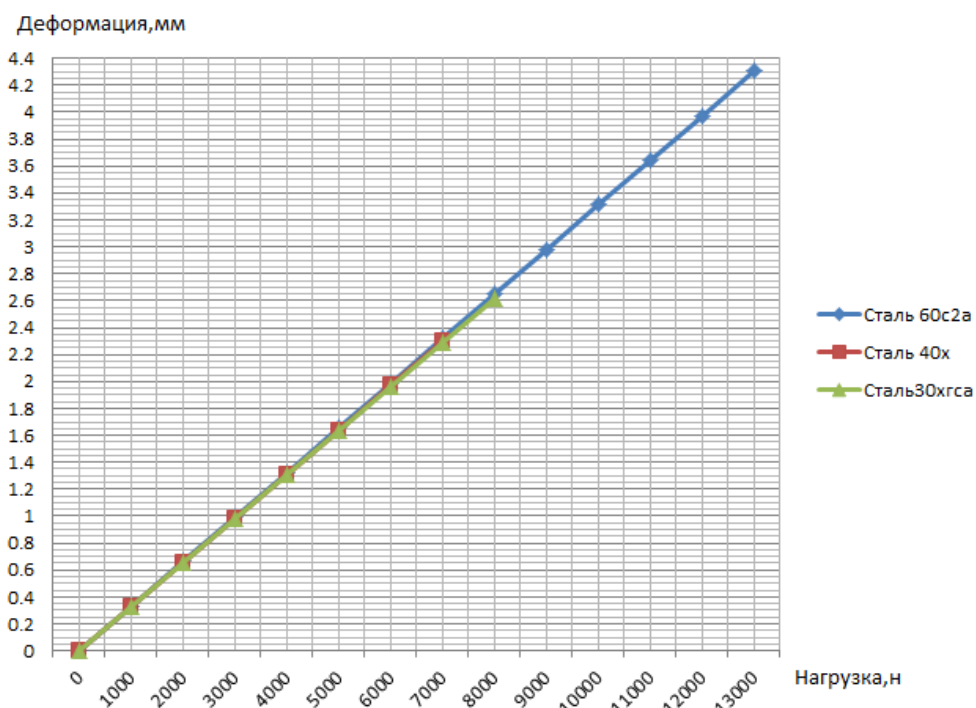


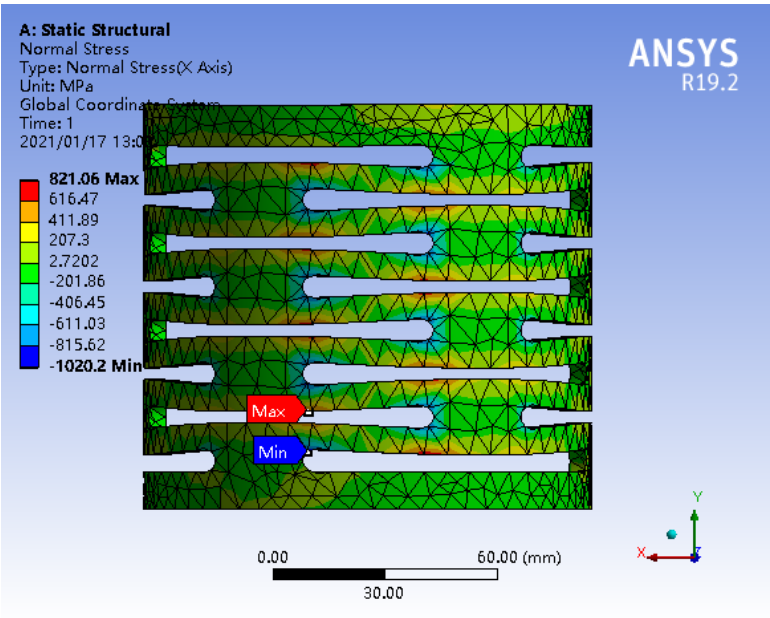
Рисунок 2.6 – Максимальная полная деформация при различных нагрузках

2.5 Анализ нормального напряжения пружины

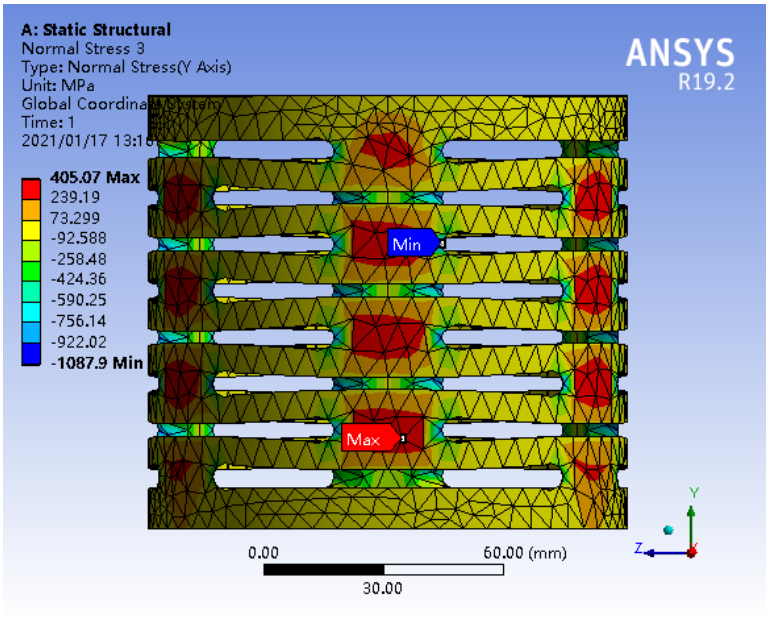
при максимальной нагрузки

Как показано на рисунке (2.7а, б, в), мы анализируем нормальное напряжение пружины из различных материалов (стали 60С2А, 40Х, 30ХГСА.)

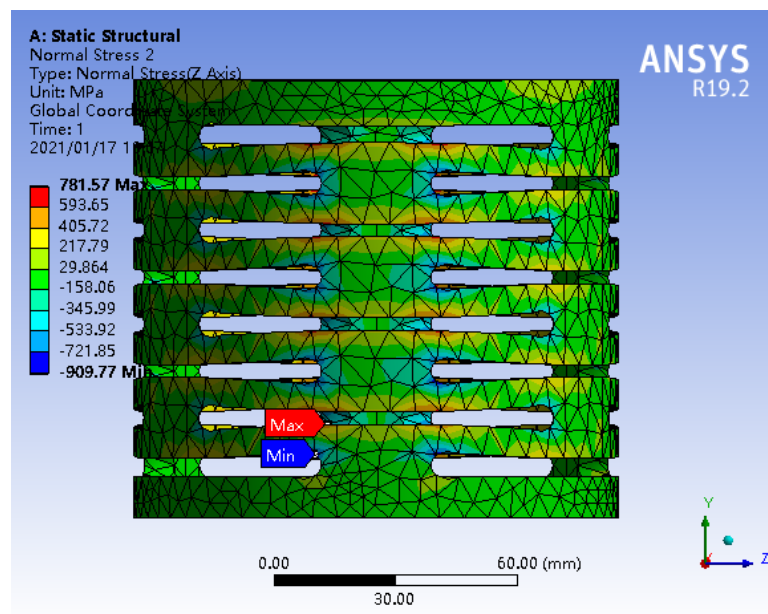
в направлениях X, Y и Z при максимальной нагрузке.



(1)

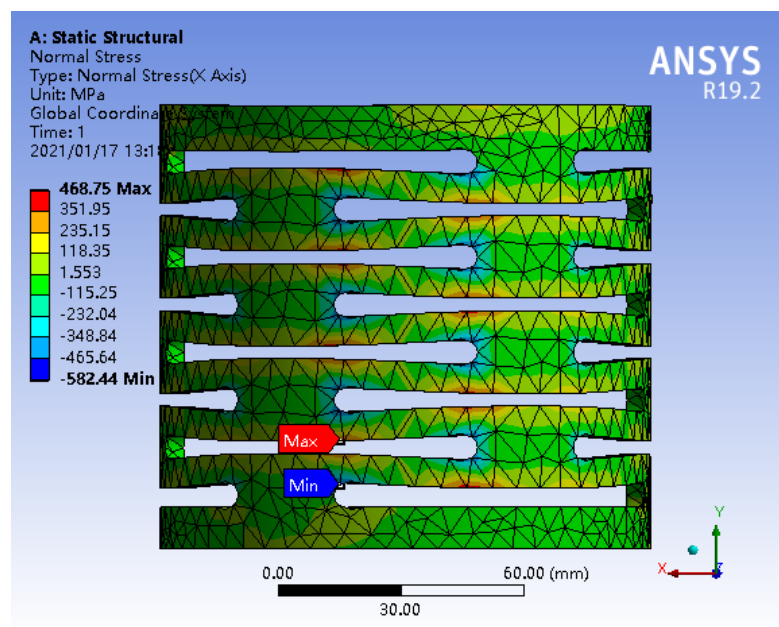


(2)

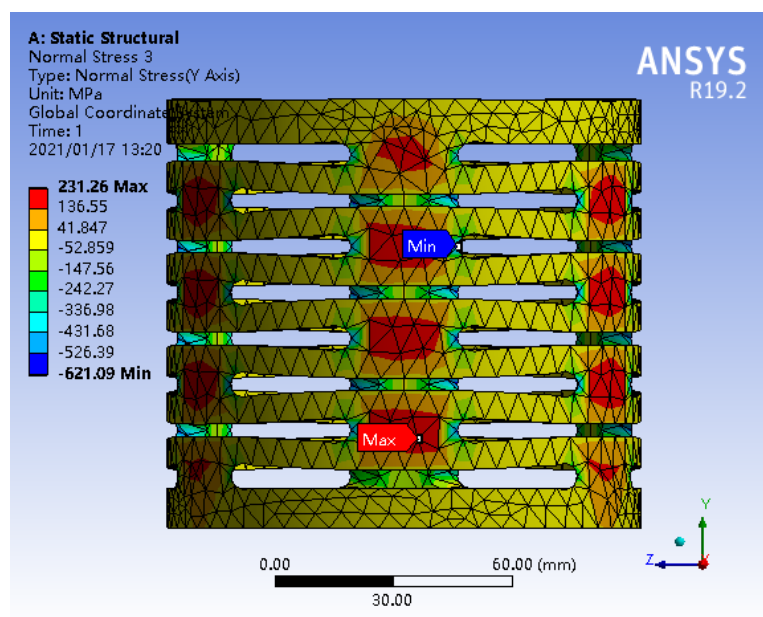


(3)

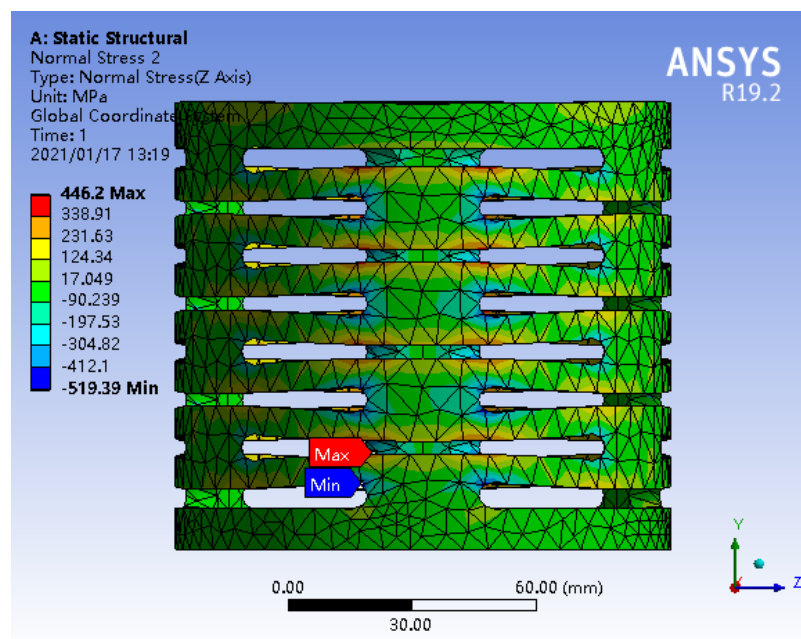
Рисунок 2.7а – Нормальное напряжение пружины стали 60С2А в направлениях X, Y и Z при максимальной нагрузке (13421Н)



(1)

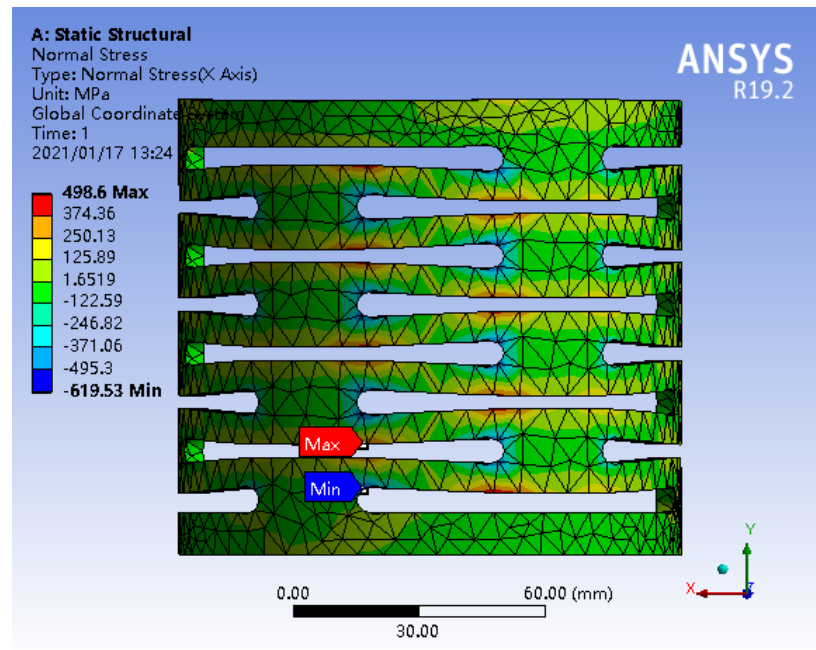


(2)

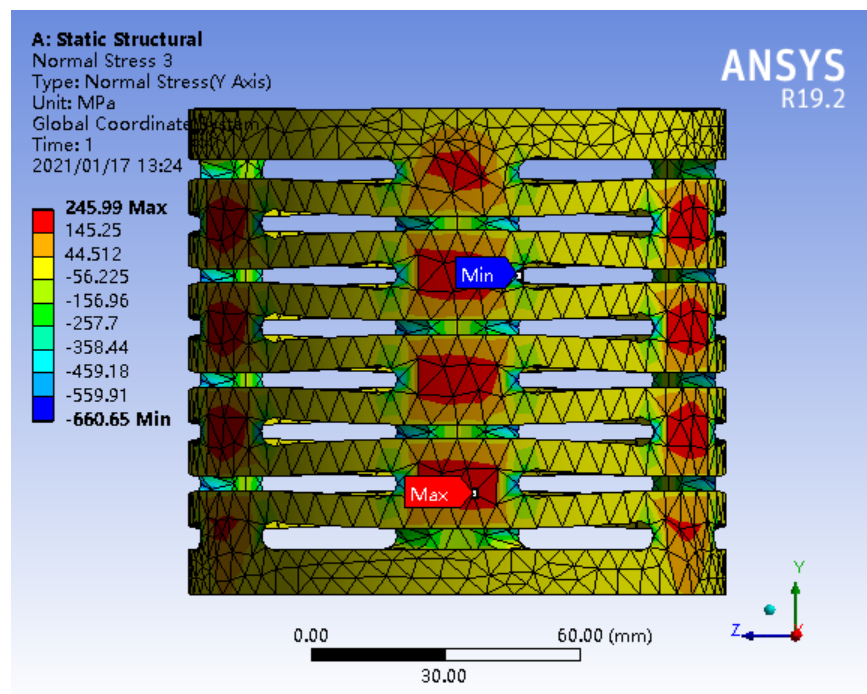


(3)

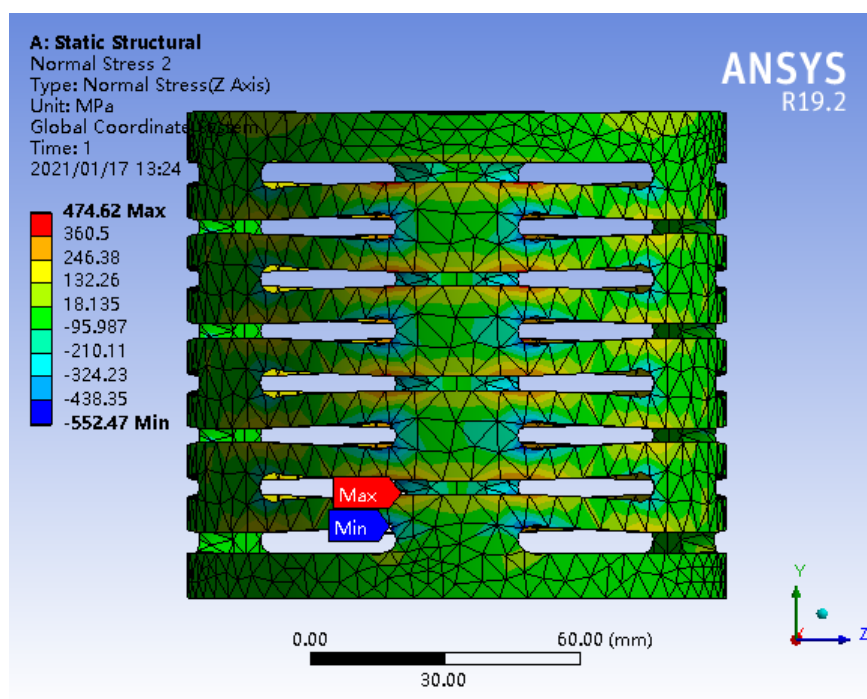
Рисунок 2.76 – Нормальное напряжение пружины стали 40Х в направлениях X, Y и Z при максимальной нагрузке (7662,1Н)



(1)



(2)



(3)

Рисунок 2.7в – Нормальное напряжение пружины стали 30ХГСА в направлениях X, Y и Z при максимальной нагрузке (8150,1Н)

На приведенном выше рисунке(2.7а, б, в), если значение нормального напряжения положительное, то это растягивающие напряжения; а если значение нормального напряжения отрицательное, то это сжимающие напряжения. Потенциально опасными местами являются места, где наблюдаются высокие растягивающие напряжения. Из рисунков(2.7а, б, в) видно, что наиболее высокие значения нормального сжимающего напряжения присутствуют на краю каждого участка и в перемычках между канавками. В этих местах, скорее всего, будет разрушение (указано на рисунке 2.8).

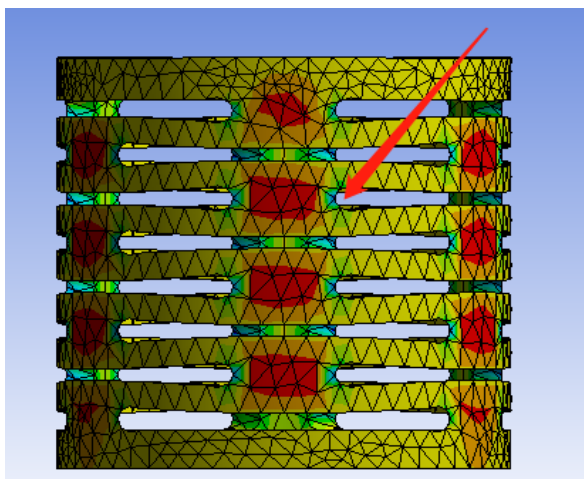


Рисунок 2.8 – Схема указанного места разрушения

Результаты, полученные с помощью метода анализа конечных элементов ansys, согласуются с данными наблюдаемыми в реальности (указано на рисунке 2.9).



Рисунок 2.9 – Схема места разрушения пружины

2.6 Анализ направленной деформаций пружины при максимальной нагрузке

Когда пружина находится в состоянии сжатия, возникает деформация сжатия или растяжения в горизонтальном направлении. Поэтому, проведен анализ деформаций пружины из различных материалов (стали 60С2А, 40Х,30ХГСА.) в направлениях X и Z при максимальной нагрузке (на рисунке

2.10а, б, в), для стали 60С2А, нагрузку настроил 13421Н; для стали 40Х, нагрузку настроил 7662,1Н; для стали 30ХГСА, нагрузку настроил 8150,1Н.

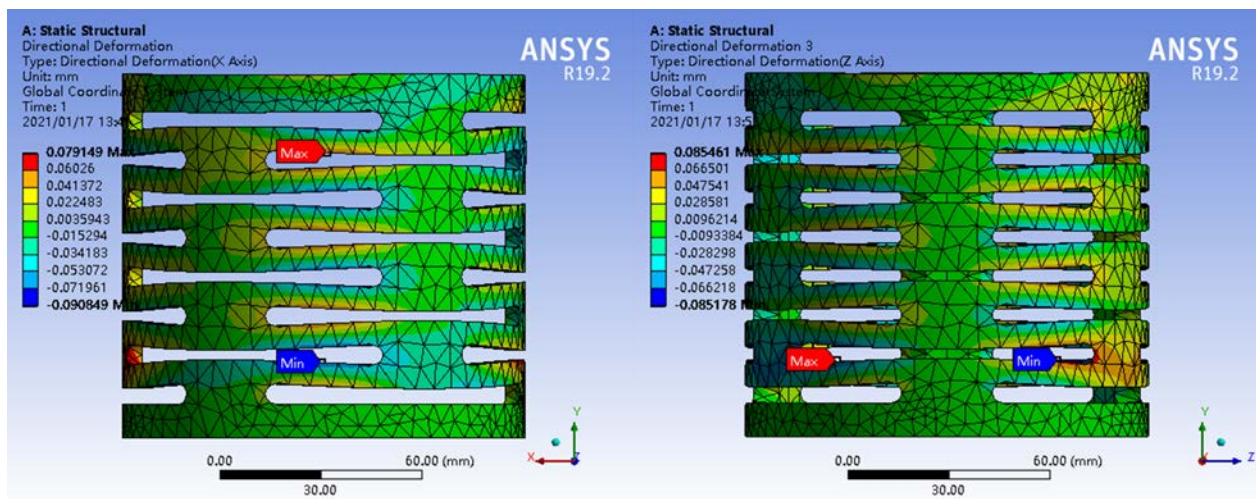


Рисунок 2.10а – Деформация пружины из стали 60С2А в направлениях X и Z при максимальной нагрузке (13421Н)

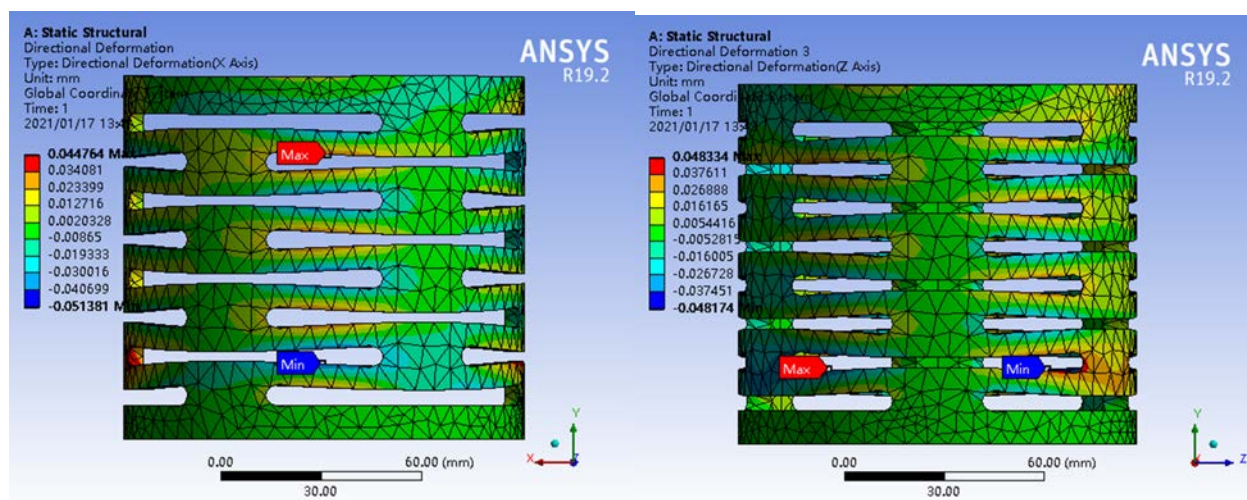


Рисунок 2.10б – Деформация пружины из стали 40Х в направлениях X и Z при максимальной нагрузке (7662,1Н)

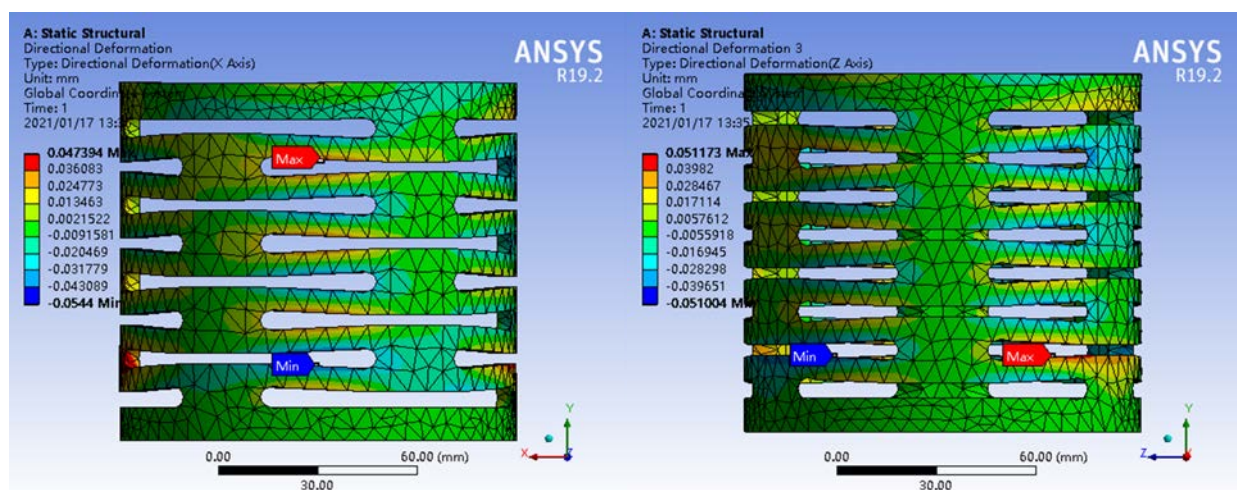


Рисунок 2.10в – Деформация пружины из стали 30ХГСА в направлениях X и Z при максимальной нагрузке (8150,1Н)

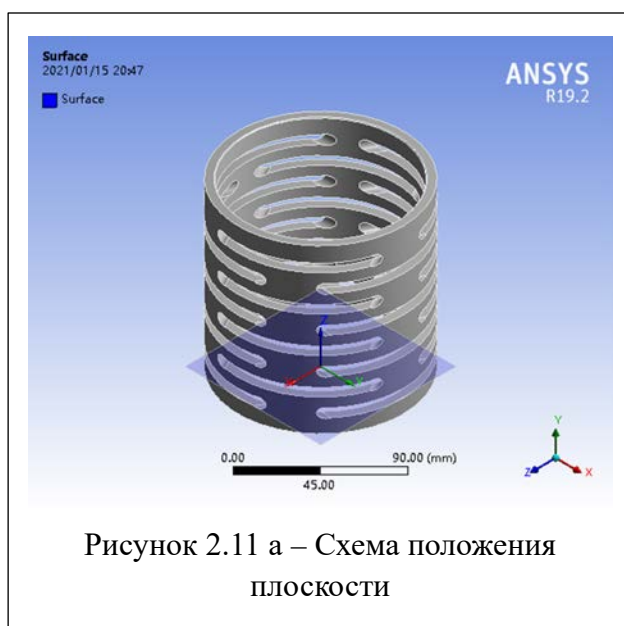
Если значение деформации положительное, то это сжимающая растягивающая деформация; а если значение деформации отрицательное, то это растягивающая напряжения.

Как видно из рисунка(2.10а, б, в), горизонтальная деформация кромки каждого участка пружины более очевидна, хотя значение деформации очень маленькое, и существует потенциальный риск разрушения. Особенно в первом и последнем участке.

2.7 Анализ напряжения в сечении

2.7.1 Анализ эквивалентного напряжения в поперечном сечении

Для анализа эквивалентного напряжений в сечении, нужно создать плоскость и новые координаты (рисунок 2.11а, б). При изменении координаты оси Y, можно изменить положение плоскости.



Details of "Coordinate System"	
Definition	
Type	Cartesian
Coordinate System	Program Controlled
APDL Name	
Suppressed	No
Origin	
Define By	Global Coordinates
Origin X	0. mm
Origin Y	-59. mm
Origin Z	0. mm
Location	Click to Change
Principal Axis	

Рисунок 2.11б – Схема настройки координаты

Посмотрим на эквивалентное напряжение в поперечном сечении пружины при максимальной нагрузке (в таблице 2.6). Выбрано среднее сечение каждого участка пружины для анализа (на рисунке 2.12).

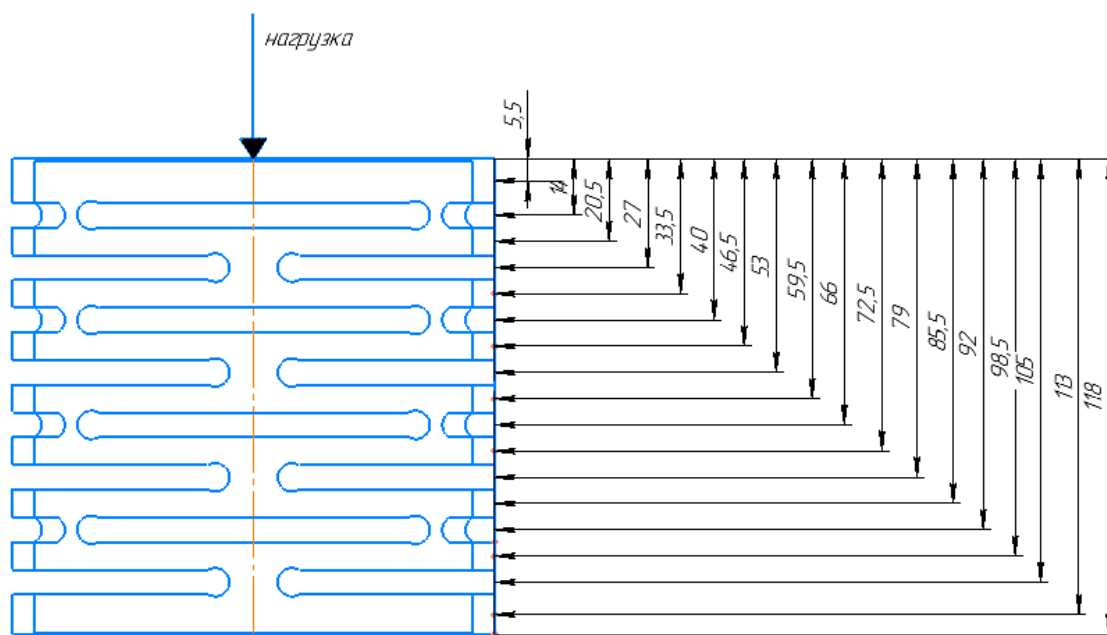


Рисунок 2.12 – Схема поперечного сечения

Таблица 2.6 – Максимальное эквивалентное напряжение на поперечном сечении при максимальной нагрузке

Расстояние от торца, мм	$\sigma_{\text{ЭКВ МАХ}}$, МПа (Сталь60С2А, 13421Н)	$\sigma_{\text{ЭКВ МАХ}}$, МПа (Сталь40Х, 7662,1Н)	$\sigma_{\text{ЭКВ МАХ}}$, МПа (Сталь30ХГСА, 8150,1Н)
0	287,89	164,36	174,86
5,5	153,07	87,39	92,956
14	799,67	456,54	485,61
20,5	470,67	268,71	285,82
27	1050,7	599,84	638,04
33,5	441,8	252,23	268,29
40	1041,2	594,41	632,27
46,5	450,96	257,46	273,85
53	1025,1	585,25	622,53
59,5	443,36	253,12	269,24
66	1032,1	589,22	626,75
72,5	450,99	257,47	278,87
79	1034,8	590,78	628,41
85,5	438,16	250,15	266,08
92	1048,5	598,62	636,75
98,5	476,75	272,18	289,51
105	616,75	352,1	374,53
113	144,5	82,494	87,748
118	153,53	87,652	83,253

Строится график по данным таблицы, на рисунке 2.13.



Рисунок 2.13 – График максимального эквивалентного напряжения на поперечном сечении при максимальной нагрузке

2.7.2 Анализ эквивалентного и нормального напряжения в продольном сечении

Для анализа эквивалентного и нормального напряжения в продольном сечении, выбраны две специальных сечения (на рисунке 2.14). Одно является средним продольным сечением соединения каждого участка пружины(2.14а), а другое является средним продольным сечением каждого участка пружины(2.14б). При анализе структуры пружины, в этих сечений может быть оказано большое напряжение.

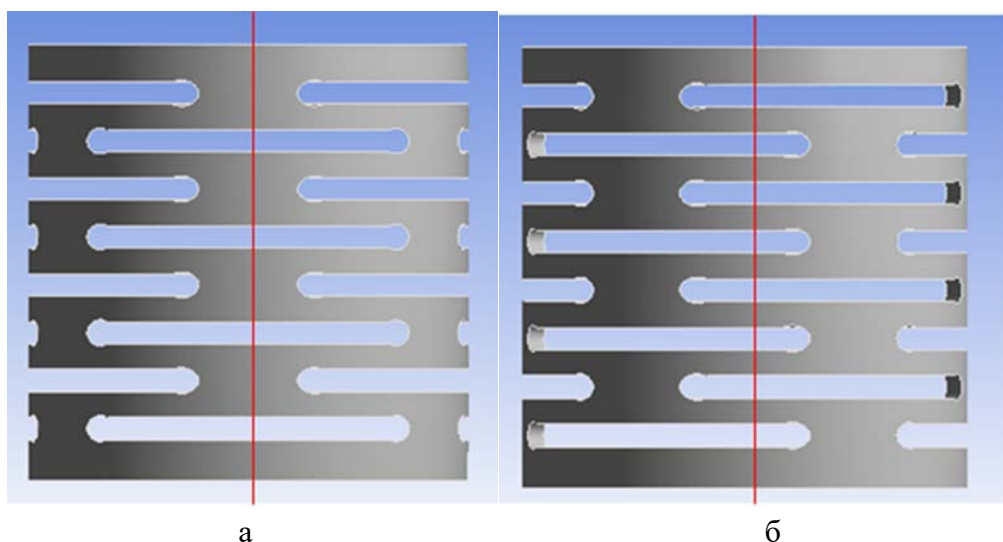


Рисунок 2.14 – Схема продольного сечения для анализа

Проведен анализ эквивалентного напряжения в продольном сечении пружины из различных сталей при максимальной нагрузке, как указано на рисунке 2.15а, б, в.

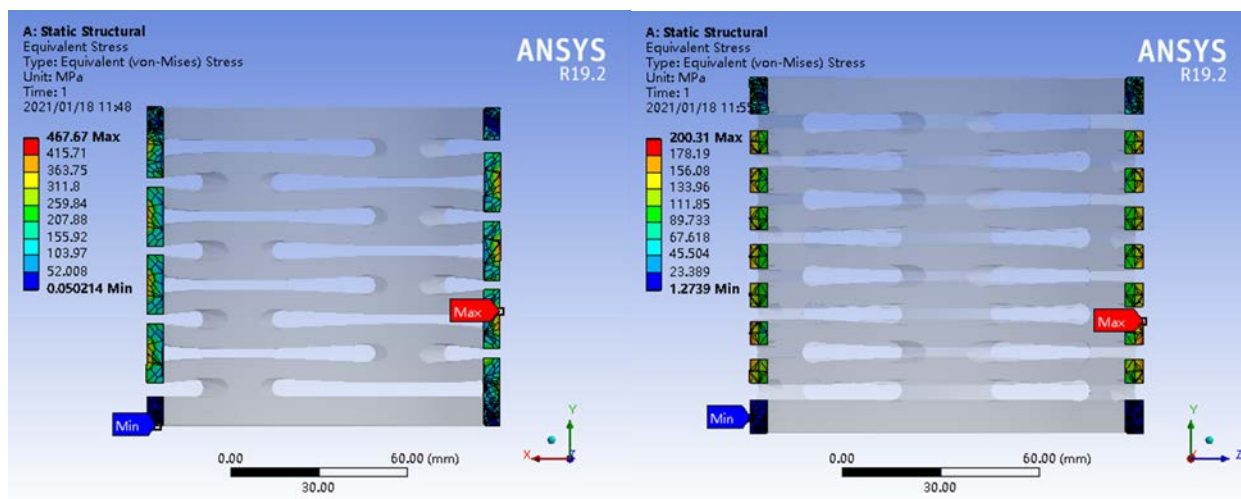


Рисунок 2.15а – Эквивалентное напряжение в продольном сечении пружины стали 60С2А при максимальной нагрузке (13421Н)

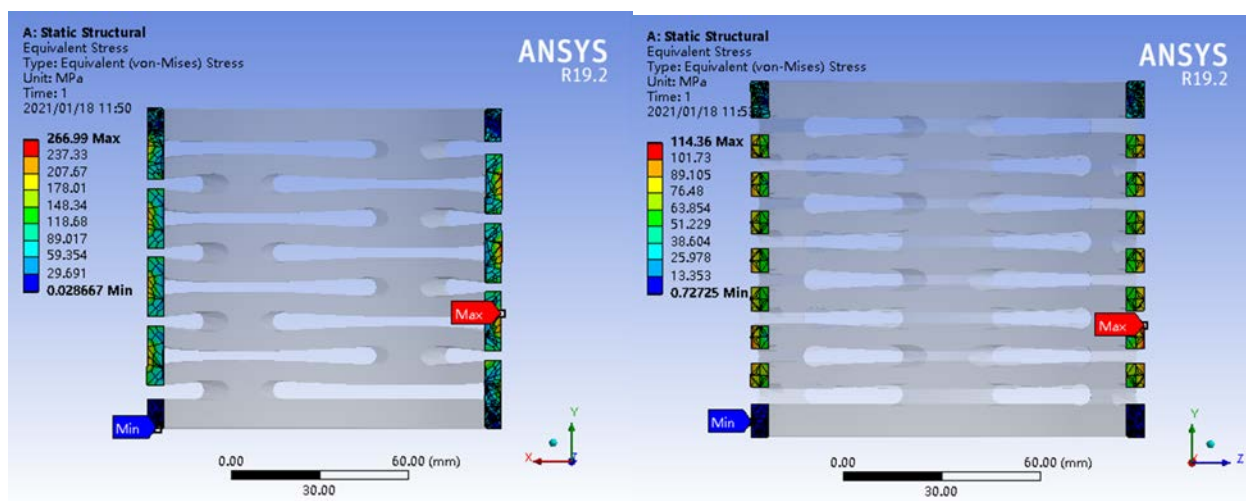


Рисунок 2.15б – Эквивалентное напряжение в продольном сечении пружины стали 40X при максимальной нагрузке (7662,1Н)

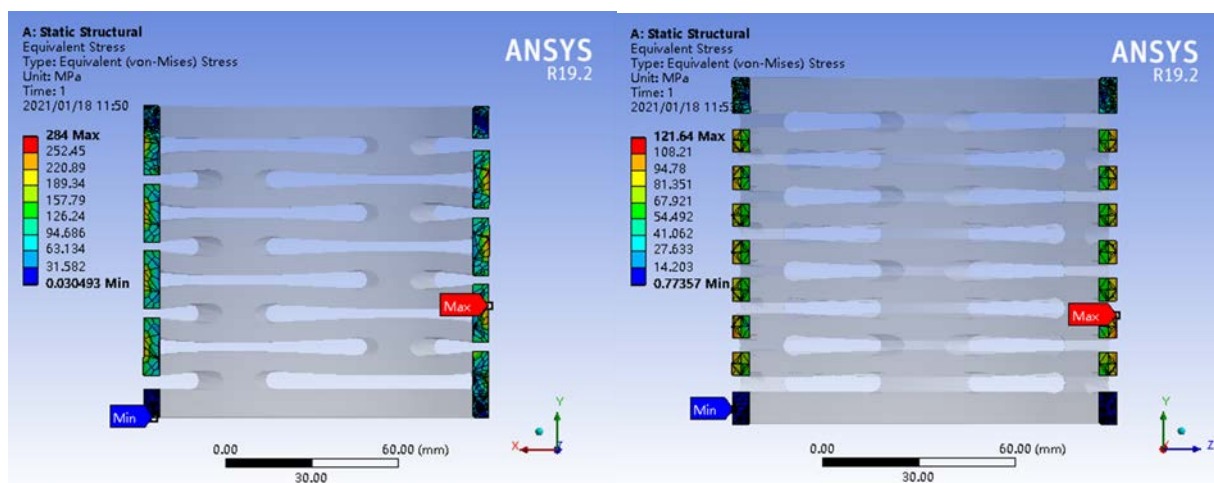


Рисунок 2.15в – Эквивалентное напряжение в продольном сечении пружины стали 30XГСА при максимальной нагрузке (8150,1Н)

Проведен анализ нормального направления в продольном сечении пружины из различных сталей при максимальной нагрузке, как указано на рисунке 2.16а, б, в.

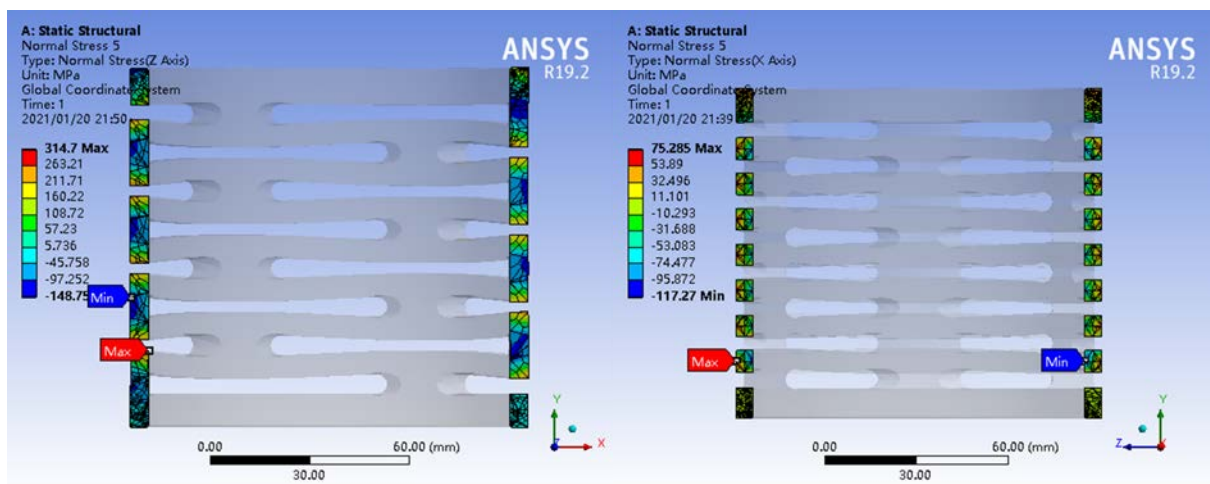


Рисунок 2.16а – Нормальное напряжение в продольном сечении пружины стали 60С2А при максимальной нагрузке (13421Н)

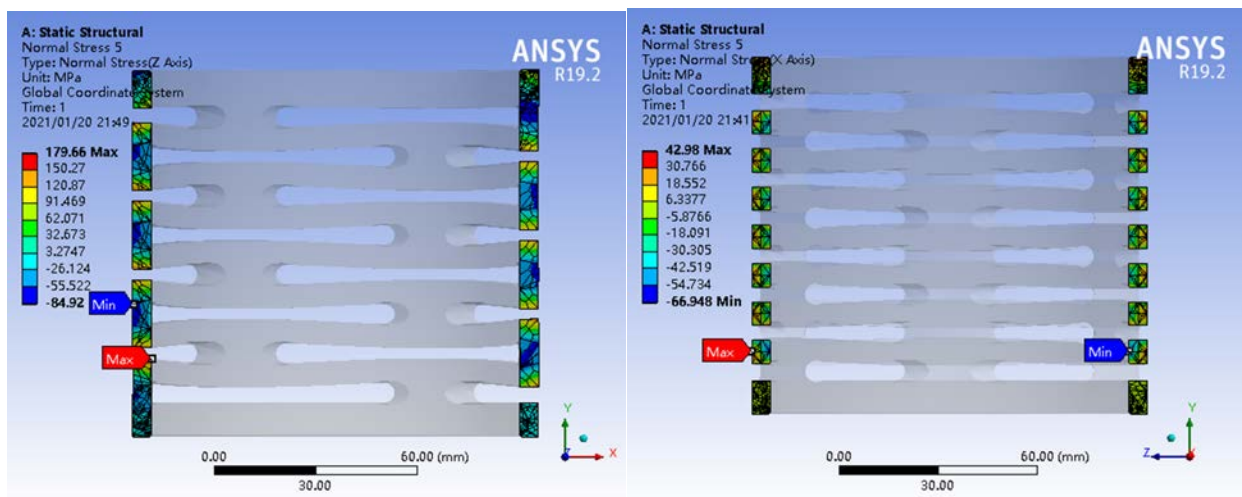


Рисунок 2.16 б – Нормальное напряжение в продольном сечении пружины стали 40Х при максимальной нагрузке (7662,1Н)

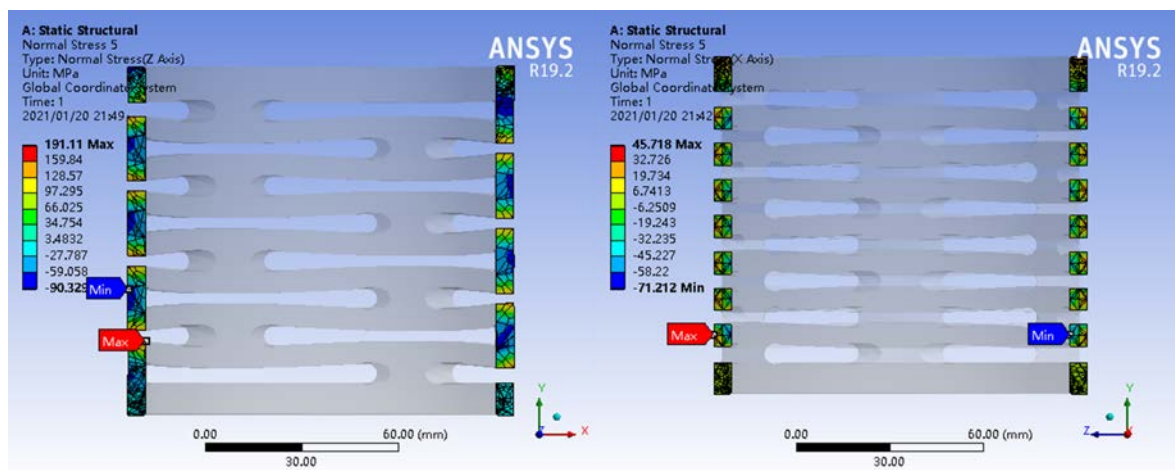


Рисунок 2.16в – Нормальное напряжение в продольном сечении пружины стали 30ХГСА при максимальной нагрузке (8150,1Н)

На приведенном выше рисунке (2.16а, б, в), если значение нормального напряжения положительное, то это растягивающие напряжения; а если значение нормального напряжения отрицательное, то это сжимающие напряжения. При сравнении, эквивалентное и нормальное напряжение в среднем продольном сечении каждого соединения пружины относительно большое. В продольном сечении шестого соединения пружины эквивалентное напряжение самое большое. И в продольном сечении восьмого соединения пружины горизонтальное нормальное напряжение самое большое. Этих местах будет трещины и разрушения.

2.8 Анализ напряжений в радиусной части пазов

Для анализа напряжений в радиусной части пазов, выбрана одна радиусная часть пазов каждого участка пружины при максимальной нагрузке (на рисунке 2.17). Анализируется эквивалентное напряжение в радиусной части пазов пружины из разных материалов при максимальной нагрузке (на рисунке 2.18а, б, в).

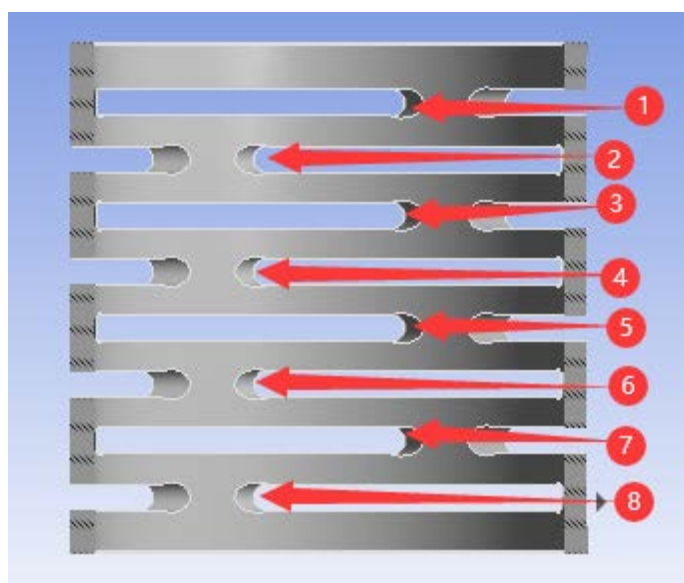
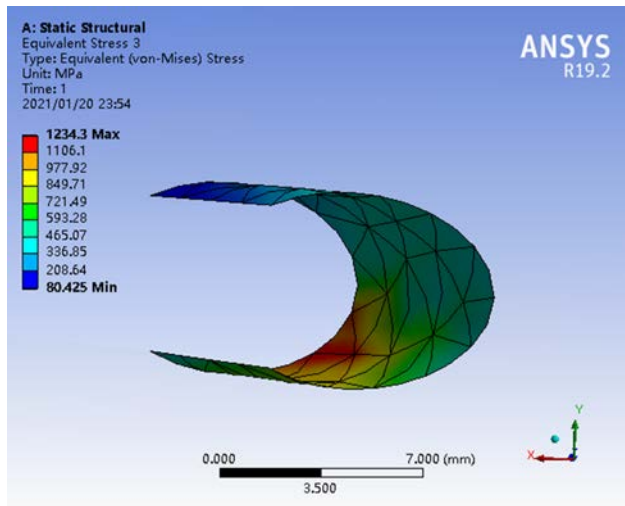
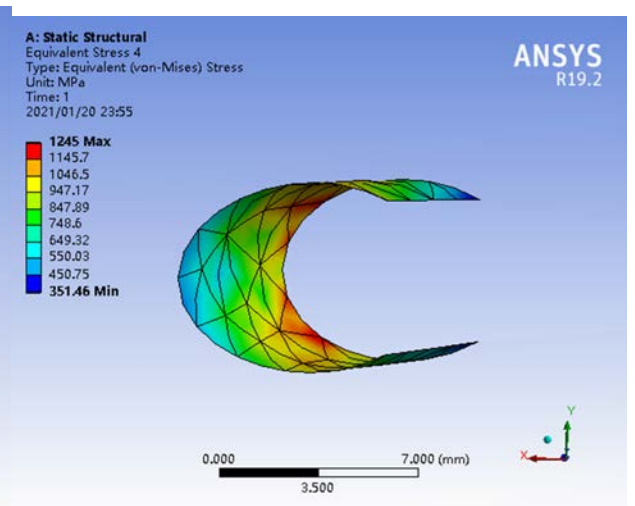


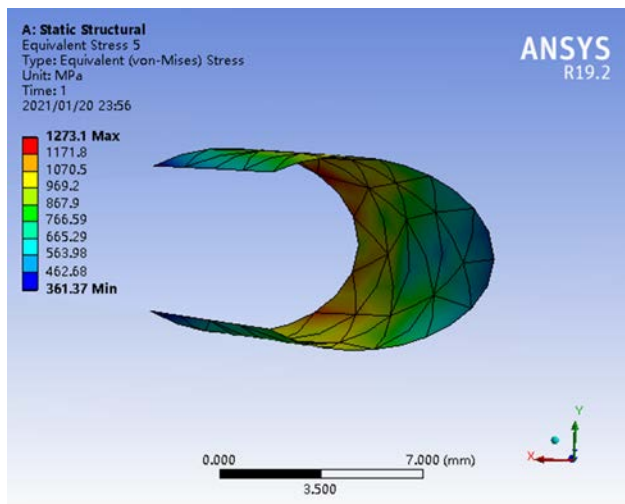
Рисунок 2.17 – Схема выбранной радиусной части пазов



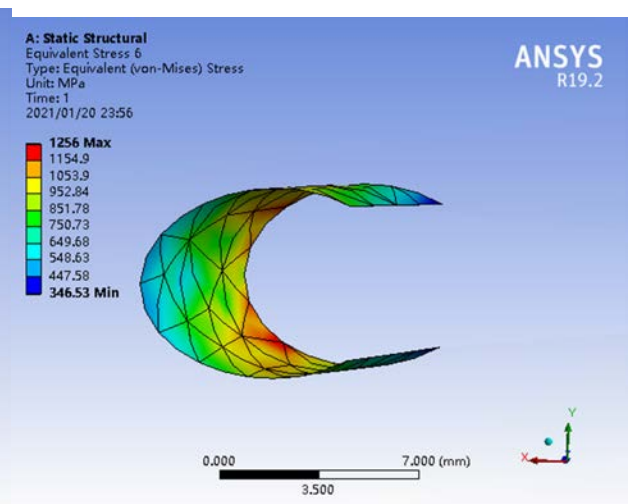
1



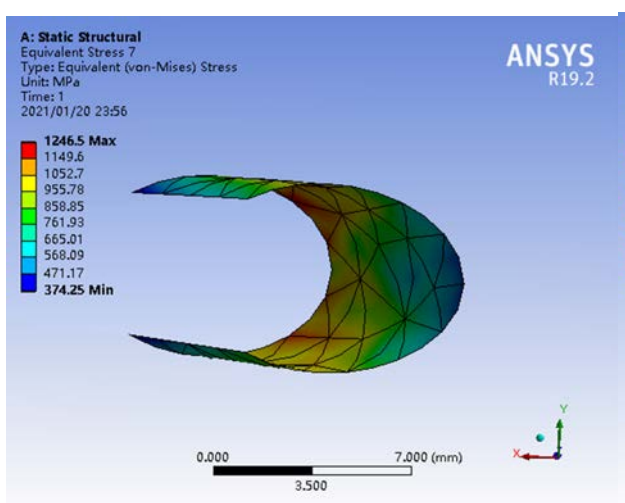
2



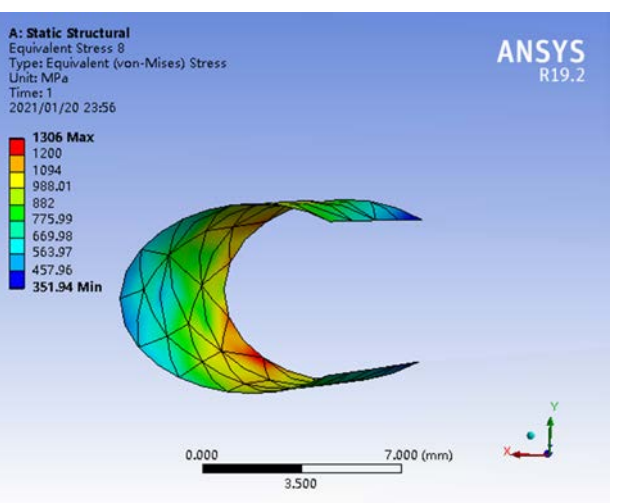
3



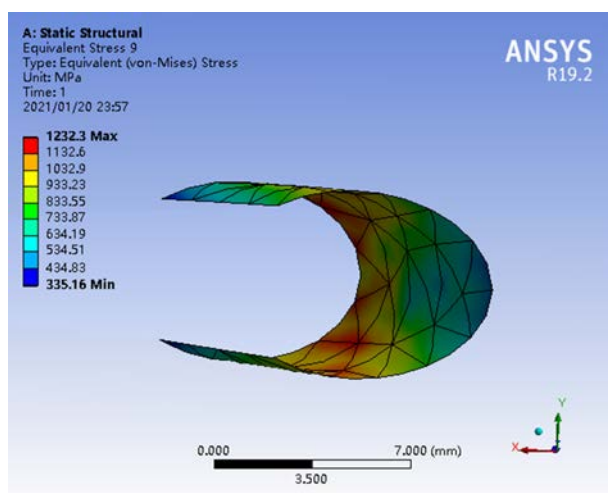
4



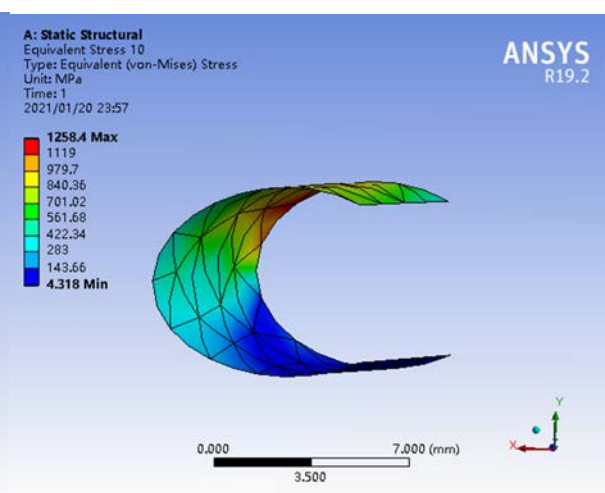
5



6

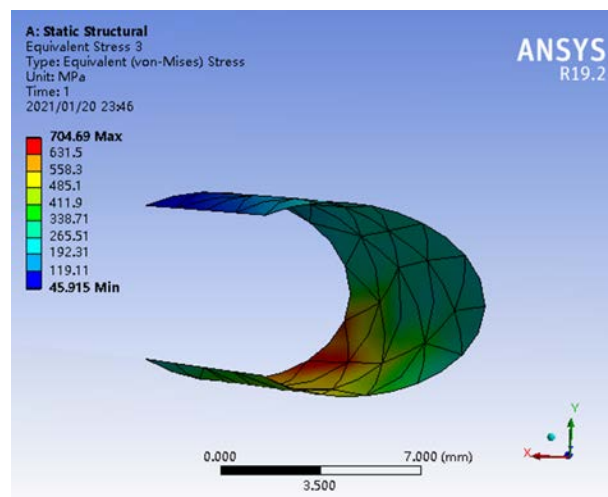


7

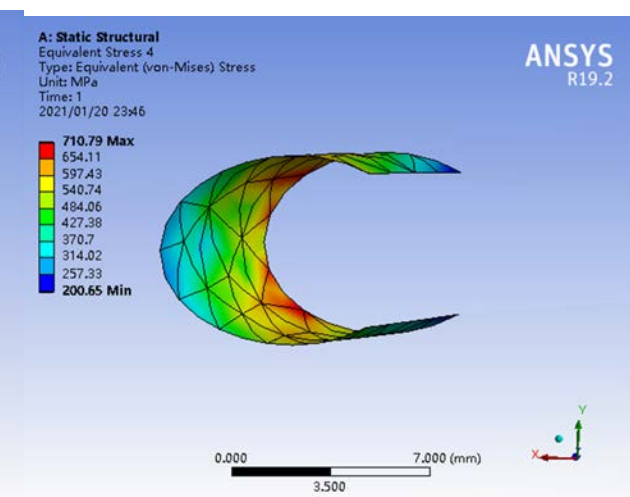


8

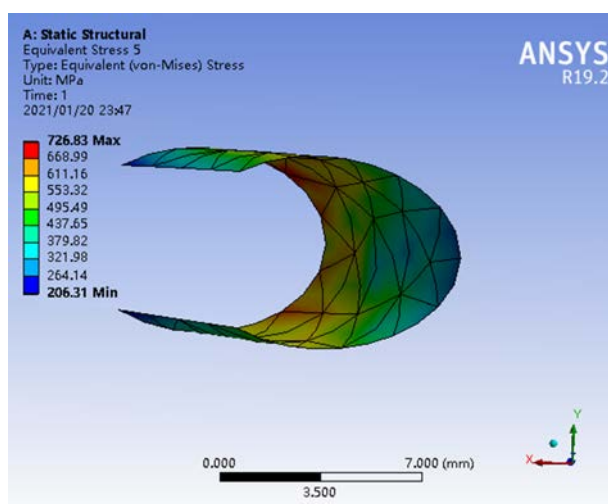
Рисунок 2.18а – Эквивалентное напряжение в радиусной части пазов пружины стали 60С2А при максимальной нагрузке (13421Н)



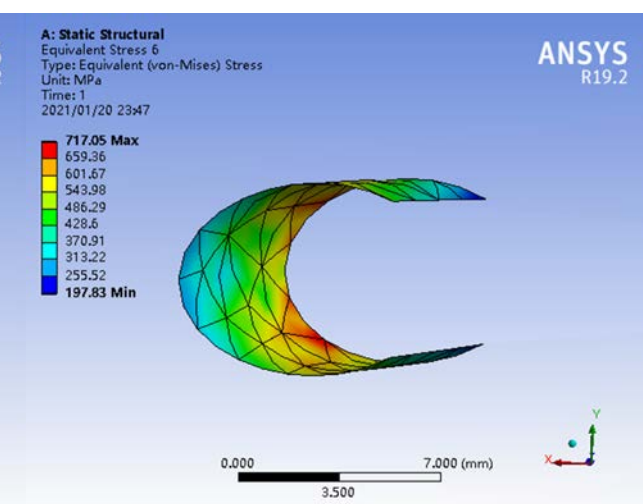
1



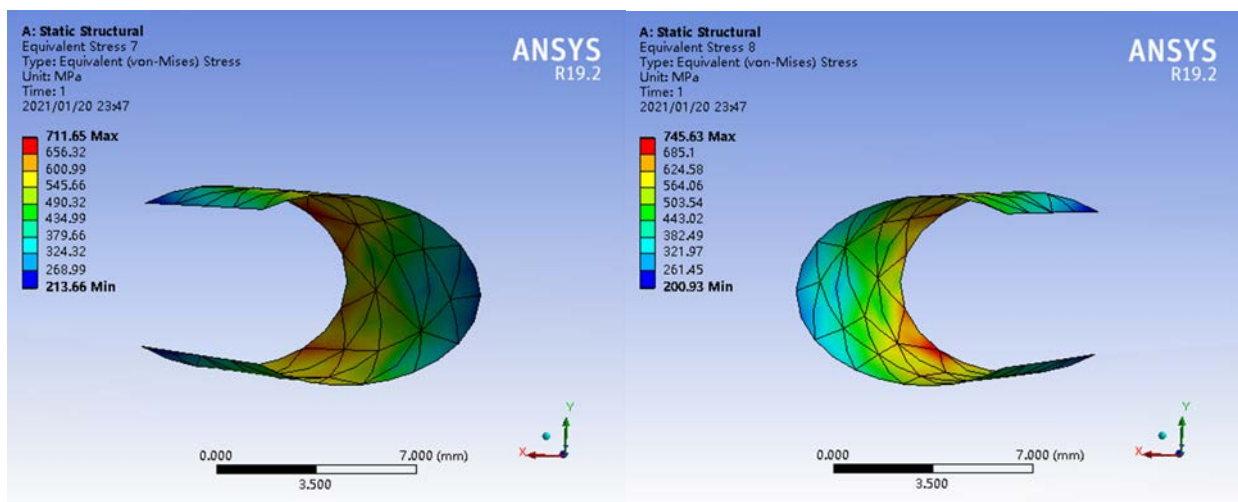
2



3

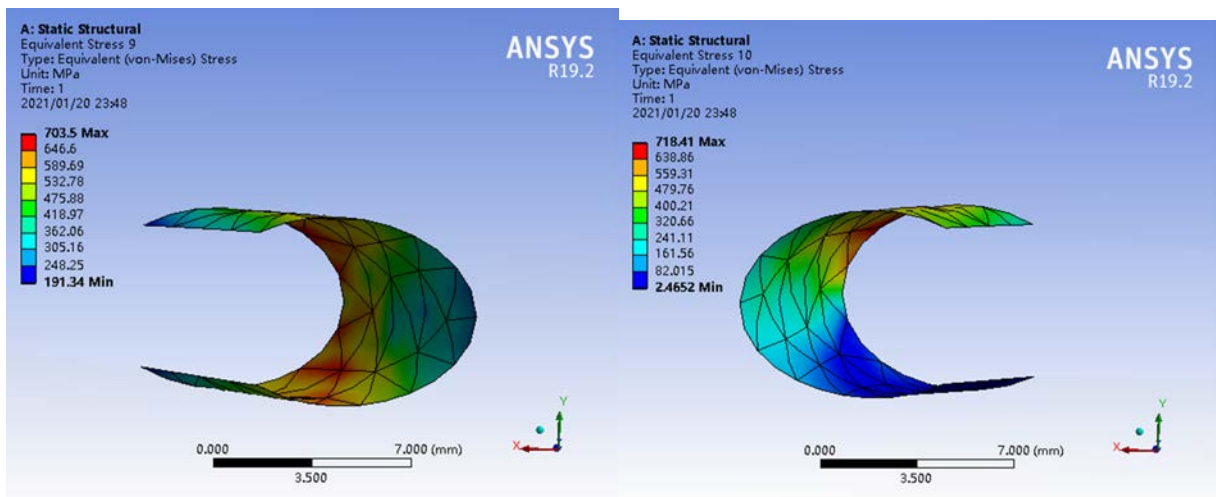


4



5

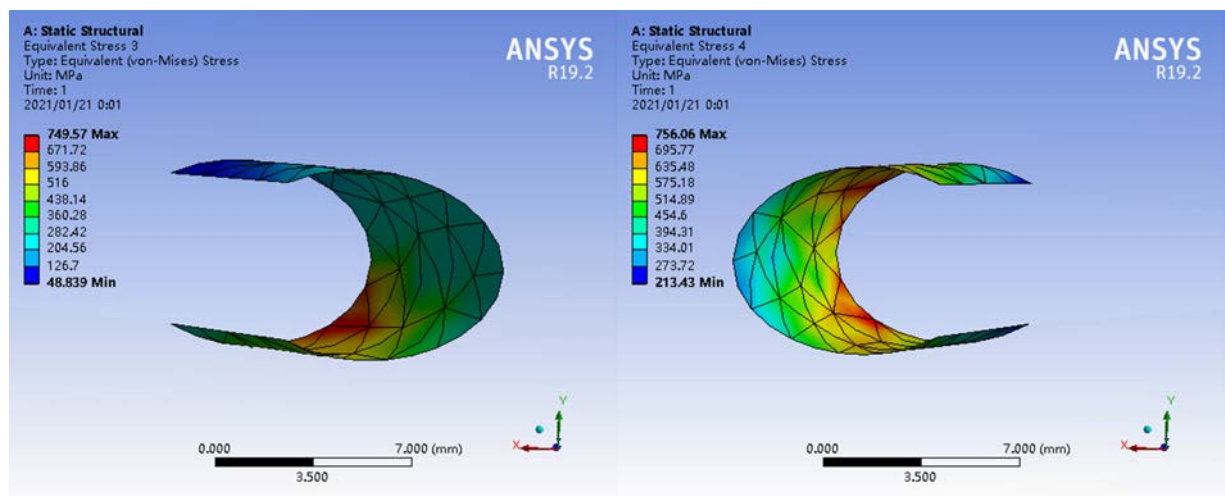
6



7

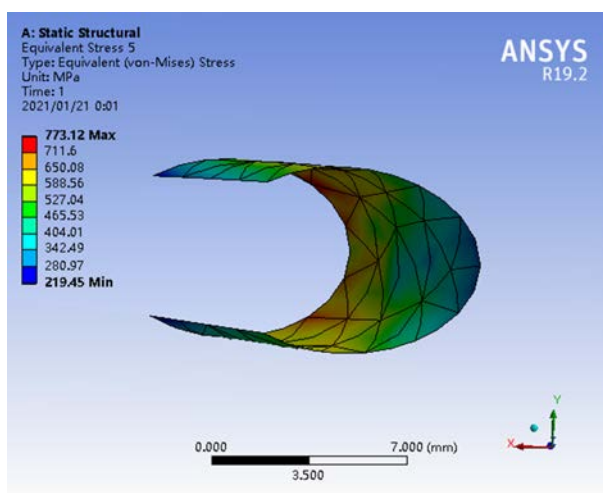
8

Рисунок 2.186 – Эквивалентное напряжение в радиусной части пазов пружины стали 40Х при максимальной нагрузке (7662,1Н)

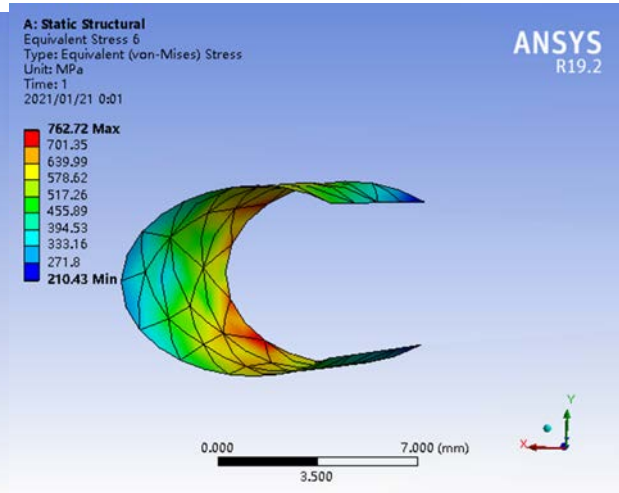


1

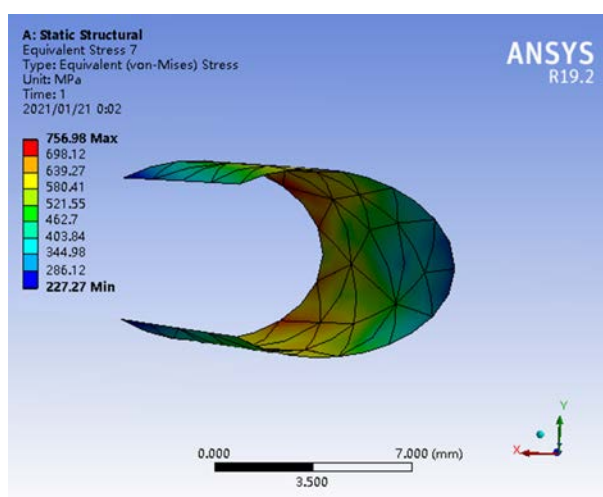
2



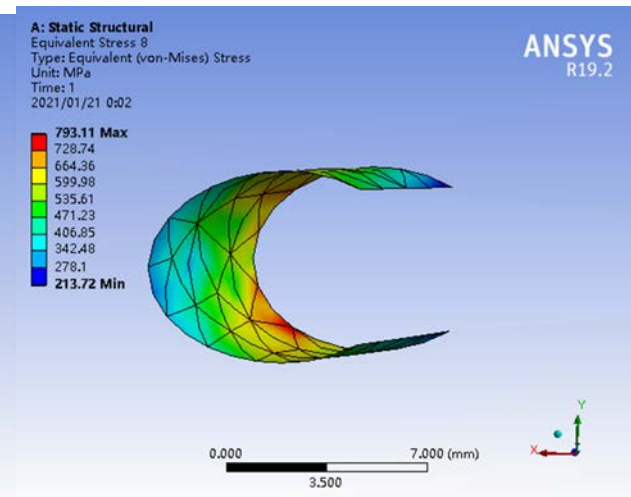
3



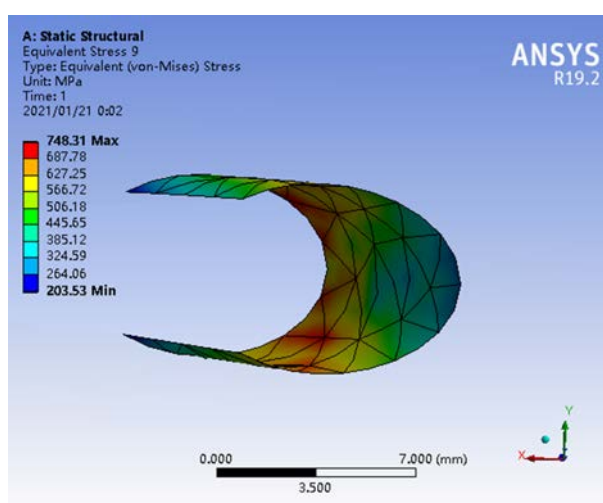
4



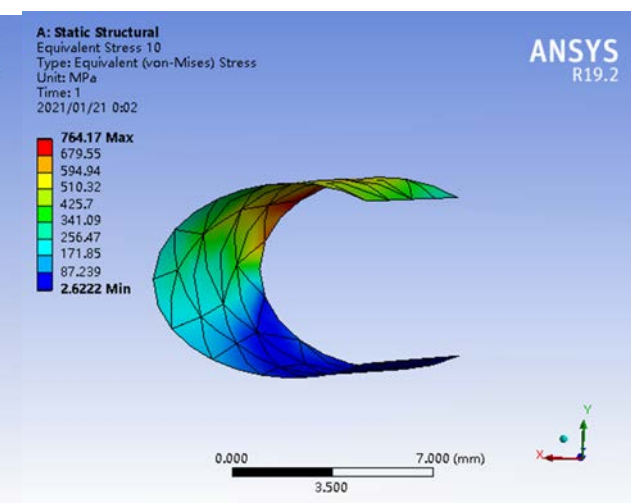
5



6



7



8

Рисунок 2.18в – Эквивалентное напряжение в радиусной части пазов пружины стали 30ХГСА при максимальной нагрузке (8150,1Н)

В соответствии с данными на рисунке введём максимальное эквивалентное напряжение в радиусной части пазов пружины в таблице 7.

Таблица 2.7 – Максимальное эквивалентное напряжение в радиусной части пазов

Номер радиусной части пазов	$\sigma_{\text{ЭКВ МАХ}}$, МПа (Сталь60С2А, 13421Н)	$\sigma_{\text{ЭКВ МАХ}}$, МПа (Сталь40Х, 7662,1Н)	$\sigma_{\text{ЭКВ МАХ}}$, МПа (Сталь30ХГСА, 8150,1Н)
1	1234,3	704,69	749,59
2	1245	710,79	756,06
3	1273,1	726,83	773,12
4	1256	717,05	762,72
5	1246,5	711,65	756,98
6	1306	745,63	793,11
7	1232,3	703,5	748,31
8	1258,4	718,41	764,17

Строится график по данным таблицы, на рисунке 2.19 а, б, в.

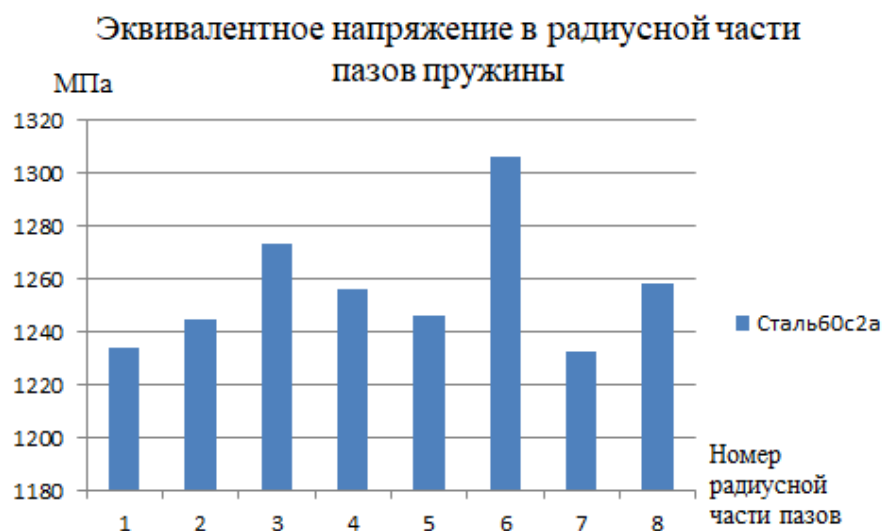


Рисунок 2.19а – График эквивалентного напряжения в радиусной части пазов пружины стали 60С2А при максимальной нагрузке (13421Н)



Рисунок 2.19б – График эквивалентного напряжения в радиусной части пазов пружины стали 40Х при максимальной нагрузке (7662,1Н)



Рисунок 2.19в – График эквивалентного напряжения в радиусной части пазов пружины стали 30ХГСА при максимальной нагрузке (8150,1Н)

Эквивалентное напряжение в радиусной части пазов пружины при различных нагрузках указано в таблице 2.8а, б, в.

Таблица 2.8а – Эквивалентное напряжение в радиусной части пазов пружины

Нагрузка, Н	Номер радиусной части пазов (Сталь 60С2А)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1000	91,971	92,767	94,86	93,584	92,88	97,313	91,816	93,762
2000	183,94	185,53	189,72	187,17	185,76	194,63	183,63	187,52

3000	275,91	278,3	284,58	280,75	278,64	291,94	275,45	281,29
4000	367,89	371,07	379,44	374,34	371,52	389,25	367,26	375,05
5000	459,86	463,83	474,3	467,92	464,4	486,57	459,08	468,81
6000	551,83	556,6	569,16	561,5	557,28	583,88	550,9	562,57
7000	643,8	649,37	664,02	655,09	650,16	681,19	642,71	656,33
8000	735,77	742,14	758,88	748,67	743,04	778,51	734,53	750,1
9000	827,74	834,9	853,74	842,26	835,92	875,82	826,34	843,86
10000	919,71	927,67	948,6	935,84	928,8	973,13	918,16	937,62
11000	1011,7	1020,4	1043,5	1029,4	1021,7	1070,4	1010	1031,4
12000	1103,7	1113,2	1138,3	1123	1114,6	1167,8	1101,8	1125,1
13000	1195,6	1206	1233,2	1216,6	1207,4	1265,1	1193,6	1218,9
14000	-	-		-	-	-	-	-

Таблица 2.76– Эквивалентное напряжение в радиусной части пазов пружины

Нагрузка, Н	Номер радиусной части пазов (Сталь40Х)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1000	91,971	92,767	94,86	93,584	92,88	97,313	91,816	93,762
2000	183,94	185,53	189,72	187,17	185,76	194,63	183,63	187,52
3000	275,91	278,3	284,58	280,75	278,64	291,94	275,45	281,29
4000	367,89	371,07	379,44	374,34	371,52	389,25	367,26	375,05
5000	459,86	463,83	474,3	467,92	464,4	486,57	459,08	468,81
6000	551,83	556,6	569,16	561,5	557,28	583,88	550,9	562,57
7000	643,8	649,37	664,02	655,09	650,16	681,19	642,71	656,33
8000	-	-	-	-	-	-	-	-
9000	-	-	-	-	-	-	-	-

10000	-	-	-	-	-	-	-	-
11000	-	-	-	-	-	-	-	-
12000	-	-	-	-	-	-	-	-
13000	-	-	-	-	-	-	-	-
14000	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблица 2.7в – Эквивалентное напряжение в радиусной части пазов пружины

Нагрузка, Н	Номер радиусной части пазов (Сталь30ХГСА)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1000	91,971	92,767	94,86	93,584	92,88	97,313	91,816	93,762
2000	183,94	185,53	189,72	187,17	185,76	194,63	183,63	187,52
3000	275,91	278,3	284,58	280,75	278,64	291,94	275,45	281,29
4000	367,89	371,07	379,44	374,34	371,52	389,25	367,26	375,05
5000	459,86	463,83	474,3	467,92	464,4	486,57	459,08	468,81
6000	551,83	556,6	569,16	561,5	557,28	583,88	550,9	562,57
7000	643,8	649,37	664,02	655,09	650,16	681,19	642,71	656,33
8000	735,77	742,14	758,88	748,67	743,04	778,51	734,53	750,1
9000	-	-	-	-	-	-	-	-
10000	-	-	-	-	-	-	-	-
11000	-	-	-	-	-	-	-	-
12000	-	-	-	-	-	-	-	-
13000	-	-	-	-	-	-	-	-
14000	-	-	-	-	-	-	-	-

- пружина разрушилась

Строится график по данным таблицы, на рисунке 2.20.

Из изображения (2.19, 2.20) видно, что эквивалентное напряжение больше в шестой радиусной части пазов пружины, соответственно это место может быть потенциальным местом разрушения детали из концентрации напряжений, и эквивалентное напряжение одинаковое в радиусной части пазов для различных материалов при одинаковой нагрузке.

1) По сравнению с пружинами из других материалов, пружина из Стали 60С2А может выдерживать больше нагрузку, максимальная нагрузка является 13421Н, Поэтому рекомендую выбрать сталь 60С2А для изготовления детали «пружина»,

2) Результаты моделирования методом конечных элементов в ANSYS согласуются с данными наблюдаемыми в реальности,

3.1 Исходные данные

Technical drawing of a spring (Пружина) showing a cross-section A-A and a side view. The drawing includes dimensions and tolerances for the spring's geometry.

Dimensions and Tolerances:

- Outer diameter: $\phi 119.6_{-0.35}^{+0.35}$
- Inner diameter: $\phi 108.6_{-0.35}^{+0.35}$
- Wall thickness: 12 ± 0.35
- Side view width: $7 \pm 13 \pm 97$
- Side view height: 10 ± 0.125
- Surface finish: $Ra 6.3$
- Force: $F1 = 1500 \text{ кПа}$, $F2 = 1500 \text{ кПа}$
- Length: $L1 = 115$, $L2 = 107$
- Angle: $0.5 \pm 4.5^\circ$
- Radius: $R3-35$
- Angle: $120^\circ \pm 1^\circ$

Legend:

- 1 * Размеры и параметры для справок.
- 2 ** Размеры обеспечиваются инструментом.
- 3 35 „42 HRC
- 4 Материал-заменитель: Сталь 55С2А, 50М, 60С2А ГОСТ 14959-79, Сталь 40Х, 30ХГСА, ГОСТ 4543-71
- 5 Покрытие: Н9. Допускается покрытие: Х9 или Ц9 хр.
- 6 Остальные IT по ГОСТ 16002.014.

Рисунок 3.1 – Чертеж детали

3.2 Анализ технологичности конструкции детали

Деталь – пружина (сжатия), имеет сложную конструкцию, трудно обрабатывать в универсальном станке, лучше использовать обрабатывающий центр с ЧПУ.

Нижнее предельное отклонение внешнего диаметра детали: $-0,35\text{мм}$; а верхнее предельное отклонение внутреннего диаметра детали: $+0,35\text{мм}$. Шероховатость поверхностей имеет параметр $Ra\ 6,3$. Можно использовать универсальные измерительные приборы.

Требований к термообработке.

3.3 Определение типа производства

В зависимости от номенклатуры и объема выпуска изделий различают три основных типа производства: единичное, серийное и массовое. Серийное производство делят на : мелкосерийное, среднесерийное и крупносерийное.

Тип производства определяется по годовому объему выпуска и массе детали.

Годовой выпуск детали – 2500 шт.

Масса детали – 1,2 кг.

Для массы детали до 20кг и объема выпуска в интервале 500...5000 согласно таблице 3.1 получается среднесерийное.

Таблица 3.1 – Тип производства

Тип производства	Годовой объем выпуска деталей одного наименования, шт		
	легкие, до 20 кг	средние, 20...300 кг	тяжелые, более 300 кг
Единичное	До 100	До 10	1...5
Мелкосерийное	101...500	11...200	6...100
Среднесерийное	501...5000	201...1000	101...300
Крупносерийное	50001...50000	1001...5000	301...1000
Массовое	Свыше 50000	Свыше 5000	Свыше 1000

3.4 Выбор исходной заготовки

Материалы, указаны на чертеже, являются сталью 55С2А; 50ХГ; 60С2А; 40Х и 30ХГТА, нужно выбирать один подходящий материал из них для изготовления детали «Пружина», их составы и виды поставки указаны в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Механические свойства сталей после термообработки и виды поставки

Марка стали	Механические свойства, не менее					Заготовка труба
	Предел текучести н/мм ²	Временное сопротивление н/мм ²	Относительное удлинение %	Относительное сужение %	Твёрдость НВ	
55С2А	1175	1270	6	30	241	Нет
50ХГ	1175	1270	7	35	269	Нет
60С2А	1375	1570	6	20	269	Нет
40Х	785	980	10	45	-	Да
30ХГСА	835	1080	10	45	-	Да

По таблице узнаем, что сталь 60С2А имеет самые хорошие механические свойства после термообработки для обработки данного детали «Пружина», но невозможно получить трубу. Если выбираем сталь 60С2А, обрабатываем из прутка, будет дорого, долго и нетехнологично. Сталь

30ХГСА имеет немного хуже механические свойства, но для стали 30ХГСА бывает труба, поэтому выбираем ее.

Таким образом, с учетом эксплуатационных характеристик детали «Пружина», форм, размеров и массы, выбираем в качестве исходной заготовки горячекатаную трубу (127*5 по ГОСТ8732-78), рисунок 3.2.

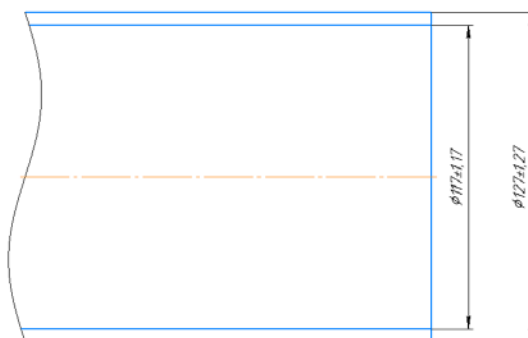


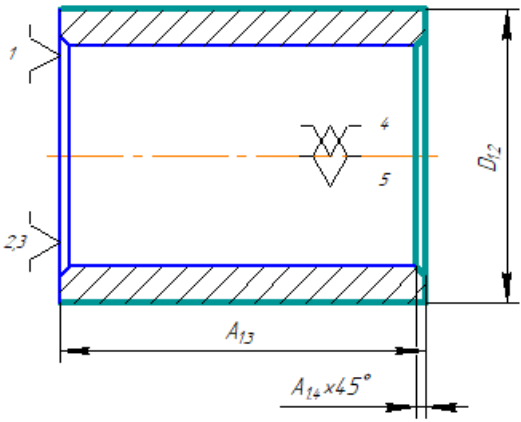
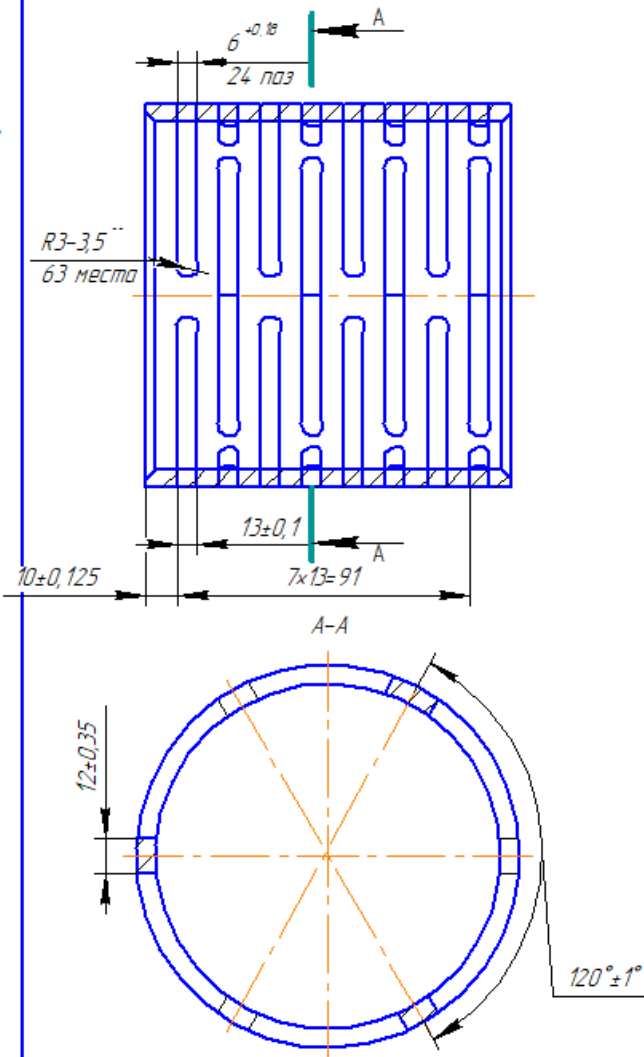
Рисунок 3.2 – Эскиз заготовки

3.5 Разработка маршрута технологии изготовления детали «Пружина»

Таблица 3.3 – Маршрут технологии изготовления детали

номер		Наименование и содержание операций и переходов	Операционный эскиз
операции	перехода		
1	2	3	4
0	1	<p><u>Отрезная</u></p> <p>установить и снять заготовку</p> <p>отрезать заготовку выдерживая размер $A_{0,1}$</p>	
1	<p>A</p> <p>1</p> <p>2</p> <p>3</p>	<p><u>токарная</u></p> <p>установ A</p> <p>установить и снять деталь</p> <p>подрезать торец выдерживая размер A_{11}</p> <p>точить внутреннюю поверхность выдерживая размер A_{11}, D_{11}</p> <p>точить фаску выдерживая размер $A_{12} \times 45^\circ$</p>	

Продолжение таблицы 3.3

	<p>Б</p> <p>4</p> <p>5</p> <p>6</p>	<p>Установ Б</p> <p>установить и снять деталь подрезать торец выдерживая размер A_{13}</p> <p>точить наружную поверхность выдерживая размер A_{13}, D_{12}</p> <p>точить фаску выдерживая размер $A_{14} \times 45^\circ$</p>	
<p>2</p>	<p>1</p>	<p><u>Фрезерная</u></p> <p>установить и снять деталь</p> <p>Фрезеровать все пазы выдерживая размеры</p>	

Продолжение таблицы 3.3

3	<i>Термообработка</i>	
4	<i>Слесарная</i>	<i>Убрать лишние перемычки</i>
5	<i>Покрытие: Н9. Допускается покрытие: Х9 или Ц9 хр.</i>	

3.6 Построение размерной схемы и граф технологических цепей

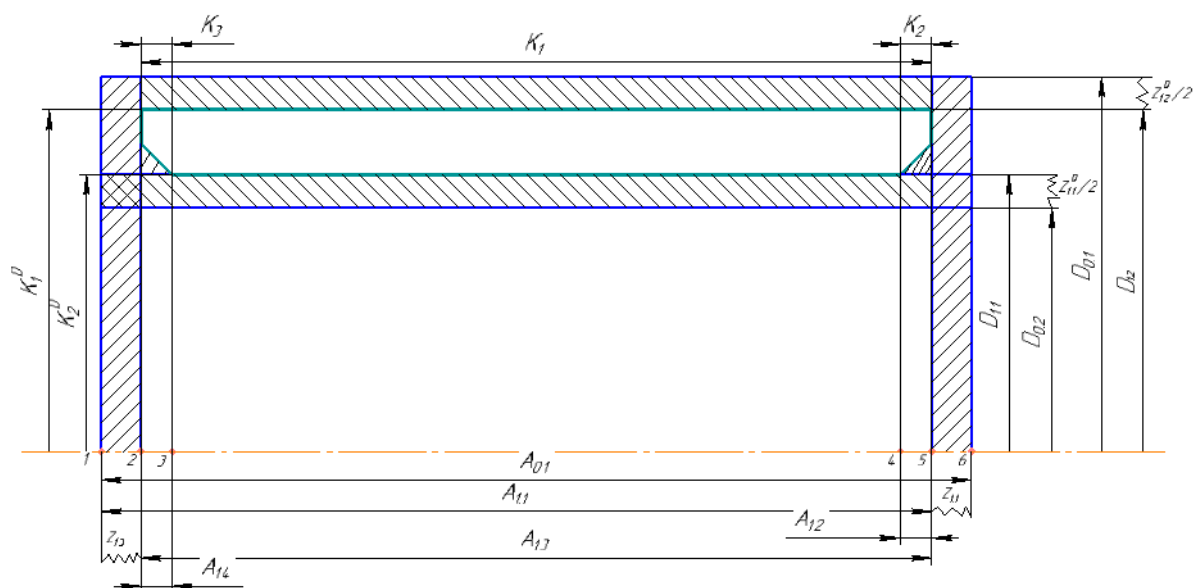


Рисунок 3.3 – Размерная схема технологического процесса.

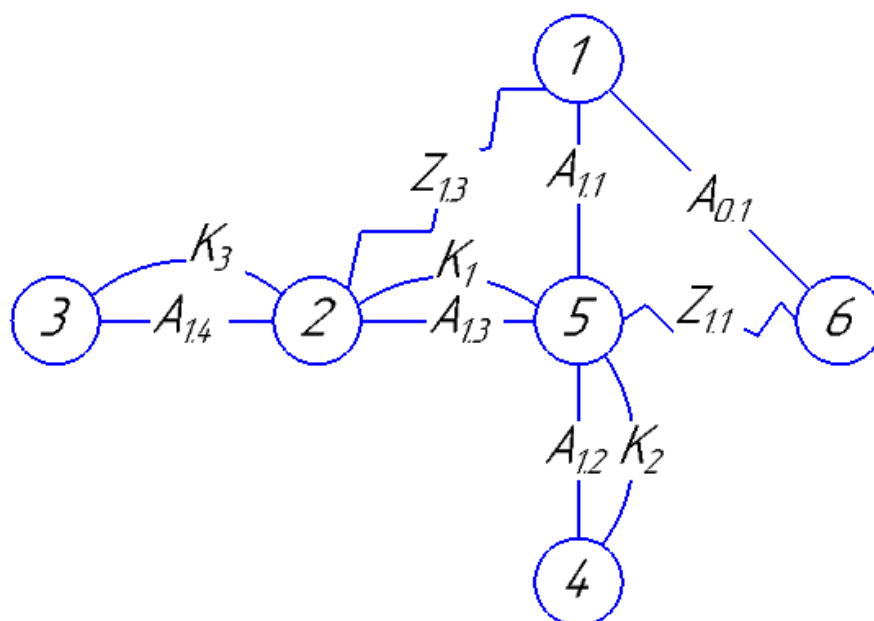


Рисунок 3.4 – Граф технологических размерных цепей.

Здесь: $T=6$, $A=5$, $K=3$, $Z=2$.

В соответствии с формулой: $T=A+1$: $A=K+Z$, следовательно, размерная схема построена, верно.

3.7 Расчет допусков, припусков и технологических размеров

3.7.1 Допуски на конструкторские размеры

Из чертежа детали выписываем допуски на конструкторские размеры.

$$TK_1 = (118)_{-0,35} = 0,35 \text{ мм};$$

$$TK_2 = (0,5)_{-0,2}^{+0,2} = 0,4 \text{ мм};$$

$$TK_3 = (0,5)_{-0,2}^{+0,2} = 0,4 \text{ мм};$$

$$TK_1^D = (119,6)_{-0,35} = 0,35 \text{ мм};$$

$$TK_2^D = (108,6)^{+0,35} = 0,35 \text{ мм}.$$

3.7.2 Допуски на технологические размеры

3.7.2.1 Определение допусков на осевые технологические размеры

Допуски на осевые технологические размеры [7, стр. 38]

$$TA_i = \omega_{ci} + \rho_{ui-1} + \varepsilon_{6i} \quad (3-1)$$

Где

ω_{ci} - статическая погрешность, мм;

ρ_{ui} - пространственное отклонение измерительной (технологической) базы, мм.

ε_{6i} - погрешность базирования, мм.

Допуски на осевые технологические размеры:

$$TA_{1.1} = \omega_{ci} + \rho_{11} = 0,2 + 0,1 = 0,3 \text{ мм};$$

$$TA_{1.2} = \omega_{ci} = 0,12 \text{ мм};$$

$$TA_{1.3} = \omega_{ci} + \varepsilon_6 = 0,2 + \sqrt{(0,035)^2 + (0,060)^2} = 0,3 \text{ мм};$$

$$TA_{1.4} = \omega_{ci} = 0,12 \text{ мм}.$$

3.7.2.2 Определение допусков на диаметральные технологические размеры

Допуски на диаметральные размеры принимаются равной статической погрешности[7.,стр. 38]

$$TD_i = \omega_c \quad (3-2)$$

где ω_{ci} - статическая погрешность, мм.

$$TD_{1.1} = \omega_c = 0,35\text{мм} ;$$

$$TD_{1.2} = \omega_c = 0,35\text{мм} .$$

3.7.3 Проверка обеспечения точности конструкторских размеров

При расчете методом максимума-минимума условие обеспечения точности конструкторского размера проверяется по формуле[7, стр. 60]

$$TK \geq \sum_{i=1}^{n+p} TA_i \quad (3-3)$$

1.Рассмотрим размерную цепь для размера K_1 (Рисунок 3.5).

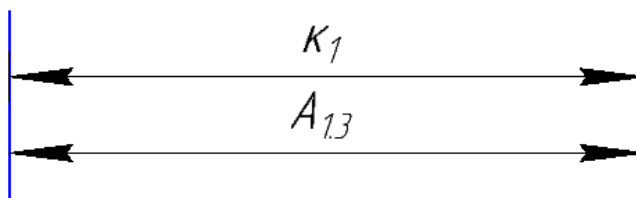


Рисунок 3.5 – Размерная цепь № 1

$TK_1 = 0,35\text{мм} ; TA_{1.3} = 0,3\text{мм}$ Размер K_1 выдерживается.

2.Рассмотрим размерную цепь для размера K_2 (Рисунок 3.6).

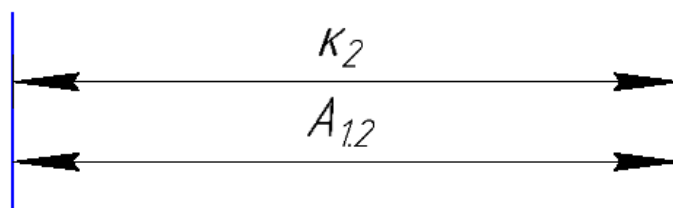


Рисунок 3.6 – Размерная цепь № 2

$TK_2 = 0,4\text{мм}$; $TA_{1.2} = 0,12\text{мм}$ Размер K_2 выдерживается.

3.Рассмотрим размерную цепь для размера K_3 (Рисунок 3.7).

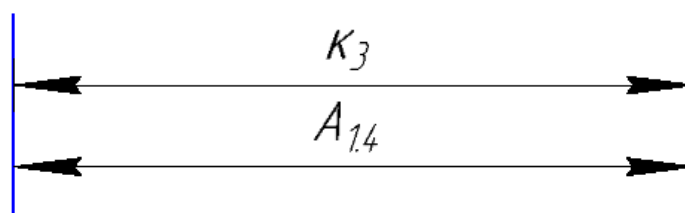


Рисунок 3.7 – Размерная цепь № 3

$TK_3 = 0,4\text{мм}$; $TA_{1.4} = 0,12\text{ мм}$ Размер K_3 выдерживается.

4.Рассмотрим размерную цепь для размера K_1^D (Рисунок 3.8).

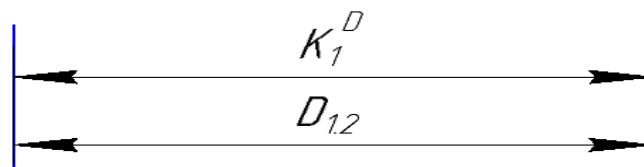


Рисунок 3.8 – Размерная цепь № 4

$TK_1^D = 0,35\text{мм}$; $TD_{1.2} = 0,35\text{мм}$ Размер K_1^D выдерживается.

5.Рассмотрим размерную цепь для размера K_2^D (Рисунок 3.9).

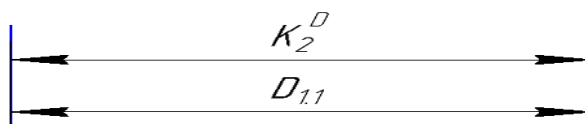


Рисунок 3.9 – Размерная цепь № 5

$TK_2^D = 0,35\text{мм}$; $TD_{1.1} = 0,35\text{мм}$ Размер K_2^D выдерживается.

3.7.4 Расчет припусков на диаметральные размеры

Минимальный припуск на обрабатываемый диаметр определяется по формулу[7, стр. 48]:

$$z_{i \min} = 2 \cdot \left(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{yi}^2} \right) \quad (3-4)$$

Где

$z_{i \min}$ — минимальный припуск на обработку поверхности вращения, мкм;

Rz_{i-1} — шероховатость с предыдущего перехода, мкм;

h_{i-1} — толщина дефектного поверхностного слоя, сформированного с предыдущего перехода, мкм;

ρ_{i-1} — суммарная погрешность формы, полученная на предшествующем переходе, мкм;

ε_{yi} — погрешность установки заготовки на текущем переходе, мкм.

$$Z_{1.1 \min}^D = 2 \cdot \left(90 + 120 + \sqrt{(60 + 90)^2 + 450^2} \right) = 1370 \text{ мкм} ;$$

$$Z_{1.2 \min}^D = 2 \cdot \left(90 + 120 + \sqrt{(60 + 90)^2 + 450^2} \right) = 1370 \text{ мкм}.$$

3.7.5 Расчет припусков на осевые размеры

Расчёт припуска на обработку плоскости, определяется по формуле[7, стр. 48]

$$z_{i \min} = Rz_{i-1} + h_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i \quad (3-5)$$

Где

$z_{i \min}$ — минимальный припуск на обработку поверхности вращения, мкм;

Rz_{i-1} — шероховатость с предыдущего перехода, мкм;

h_{i-1} – толщина дефектного поверхностного слоя, сформированного с предыдущего перехода, мкм;

ρ_{i-1} – суммарная погрешность формы, полученная на предшествующем переходе, мкм;

ε_{yi} – погрешность установки заготовки на текущем переходе, мкм.

$$Z_{1.1min} = 90 + 120 + 50 + 160 = 420 \text{ мкм};$$

$$Z_{1.12min} = 90 + 120 + 50 + 160 = 420 \text{ мкм}.$$

3.7.6 Расчёт технологических размеров

Расчет технологических размеров определяем из размерного анализа технологического процесса обработки, для чего составляем размерные цепи.

1. Рассмотрим размерную цепь для размера $A_{1.3}$ (Рисунок 3.10).

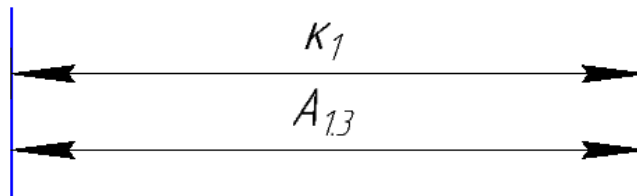


Рисунок 3.10 – Размерная цепь № 1

$$A_{1.3}^C = K_1^C = 117,825 \text{ мм}, \quad A_{1.3} = 118_{-0.35} \text{ мм};$$

2. Рассмотрим размерную цепь для размера $A_{1.2}$ (Рисунок 3.11).

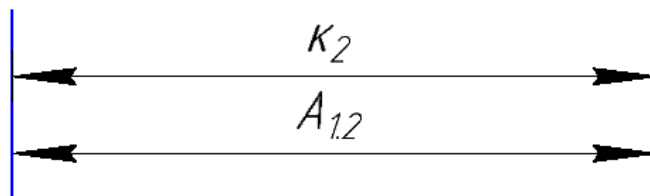


Рисунок 3.11 – Размерная цепь № 2

$$A_{1.2}^C = K_2^C = 0,5 \text{ мм}, \quad A_{1.2} = 0,5 \pm 0,2 \text{ мм};$$

3. Рассмотрим размерную цепь для размера $A_{1.4}$ (Рисунок 3.12).

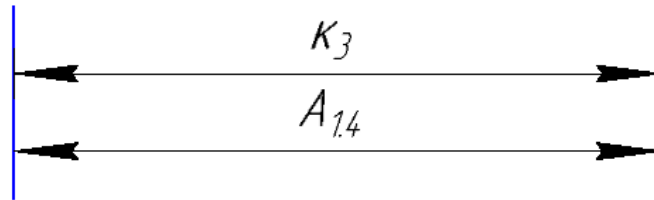


Рисунок 3.12 – Размерная цепь № 3

$$A_{1.4}^C = K_3^C = 0,5 \text{ мм}, A_{1.3} = 0,5 \pm 0,2 \text{ мм};$$

4. Рассмотрим размерную цепь для размера $A_{1.1}$ (Рисунок 3.13).

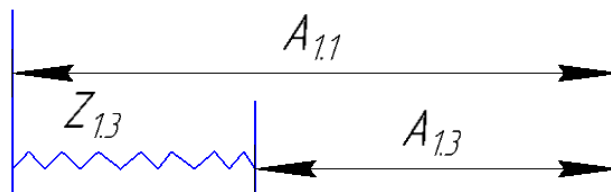


Рисунок 3.13 – Размерная цепь № 4

$$Z_{1.3}^C = A_{1.1}^C - A_{1.3}^C, Z_{1.3}^C = Z_{1.3min} + \frac{TA_{1.1} + TA_{1.3}}{2} = 0,72 \text{ мм};$$

$$A_{1.1}^C = Z_{1.3}^C + A_{1.3}^C = 0,72 + 117,825 = 118,545 \text{ мм};$$

$$A_{1.1} = 118,545 \pm 0,175 = 118,72_{-0.35} \text{ мм};$$

5. Рассмотрим размерную цепь для размера $A_{0.1}$ (Рисунок 3.14).

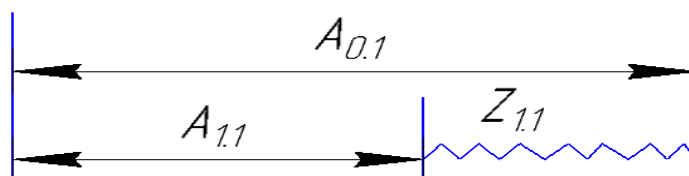


Рисунок 3.14 – Размерная цепь № 5

$$Z_{1.1}^C = A_{0.1}^C - A_{1.1}^C, Z_{1.1}^C = Z_{1.1min} + \frac{TA_{1.1} + TA_{0.1}}{2} = 1 \text{ мм};$$

$$A_{0.1}^C = Z_{1.1}^C + A_{1.1}^C = 1 + 118,545 = 119,545 \text{ мм};$$

$$A_{0.1} = 119,545 \pm 0,435 = 120_{-0.87} \text{ мм} ;$$

6. Рассмотрим размерную цепь для размера $D_{1.2}$ (Рисунок 3.15).

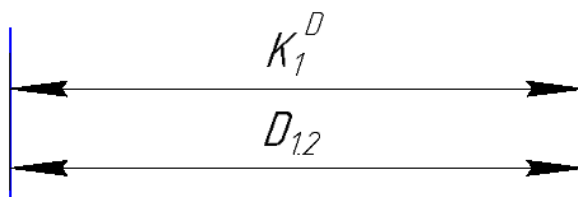


Рисунок 3.15 – Размерная цепь № 6

$$D_{1.2} = K_{15}^D = 119,6_{-0,35} \text{ мм} ;$$

7. Рассмотрим размерную цепь для размера $D_{1.1}$ (Рисунок 3.16).

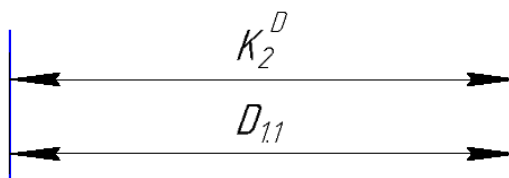


Рисунок 3.16 – Размерная цепь № 7

$$D_{1.1} = K_2^D = 108,6^{+0,35} \text{ мм} ;$$

3.8 Выбор средств технологического оснащения

Токарно-фрезерные станки для комплексной 6-сторонней обработки

CTX gamma 1250 TC.

Таблица – 3.4 Технические характеристики

Макс. диаметр точения	700 мм
Макс. длина точения	1 300 мм
Встроенный мотор-шпиндель с осью С (0,0001°)	4 000 об/мин
Макс. внутренний диаметр зажимной втулки	127 мм
Макс. частота вращения токарно-фрезерного шпинделя	20 000 об/мин
Макс. количество позиций инструмента	180 позиций

3.9 Расчет режимов резания

При назначении режимов резания – следует учитывать характер процесса, размер и тип инструмента, материал режущей части, состояние заготовки и материала, состояние и тип оборудования.

Элементы режима резания обычно устанавливаются в следующем порядке:

1. подача;
2. скорость резания;
3. глубина резания.

Дальнейший расчет:

1. фактическая скорость резания;
2. число оборотов;
3. мощность резания;
4. главная составляющая силы резания;
5. проверка по мощности;
6. мощность главного привода движения.

3.9.1 Токарная обработка

А) подрезание торца

Выбираем материал режущего инструмента в соответствии с рекомендациями [8, с. 116] – Т15К6.

1) В соответствии с требованиями к точности размеров и шероховатости поверхности, указать глубину резания обработки: $t=1\text{ мм}$.

2) Назначьте подача S в соответствии с таблицей 11 [8, с.266].

$S=0,8\text{ММ/обо}$

3) Скорость резания определяется по формуле:

$$v = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot s^y} \cdot K_v \quad (3-6)$$

Стойкости инструмента принимаем: $T = 30$ мин.

Значения коэффициентов: определены по таблице 17[8, с.266]

$$C_v = 280; m = 0,2; x = 0,15; y = 0,45$$

Коэффициент K_v :

$$K_v = K_{Mv} \cdot K_{Пv} \cdot K_{Иv}, \quad (3-7)$$

Где:

K_{Mv} — коэффициент, учитывающий качество обрабатываемого материала;

$K_{Пv}$ — коэффициент, отражающий состояние поверхности заготовки;

$K_{Иv}$ — коэффициент, учитывающий качество материала инструмента.

Определяем формулу по таблице 1 [8, с. 358]:

$$K_{Mv} = K_r \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v} = 0,85 \cdot \left(\frac{750}{710} \right)^{1,0} = 0,90 \quad (3-8)$$

По таблице 2 [8, с. 359]: $K_r = 0,85$;

По таблице 2 [8, с. 361]: $n_v = 1,0$;

По таблице 5 [8, с. 361]: $K_{Пv} = 0,9$;

По таблице 6 [8, с. 361]: $K_{Иv} = 1$.

Окончательно коэффициент K_v определяется как:

$$K_v = K_{Mv} \cdot K_{Пv} \cdot K_{Иv} = 0,90 \cdot 0,9 \cdot 1 = 0,81;$$
$$v = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot s^y} K_v = \frac{280}{30^{0,2} \cdot 1^{0,15} \cdot 0,8^{0,45}} \cdot 0,81 = 127 \text{ м/мин};$$

4) Расчет скорости вращения шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 127}{\pi \cdot 127} = 318,5 \text{ об/мин}; \quad (3-9)$$

Принимаем фактическая скорость вращения шпинделя

$$n = 319 \text{ об/мин}$$

5) Определяем основные составляющие силы резания по формуле [8, с. 271]:

$$P_z = 10 C_p t^x s^y v^n K_p \quad (3-10)$$

Значения коэффициентов определяем по таблице 22 [8, с. 272]:

$$C_p = 300 \quad x = 1,0 \quad y = 0,75 \quad n = -0,15$$

Коэффициент K_p определяется по формуле [8, с. 371]:

$$K_p = K_{mp} K_{fp} K_{yp} K_{lp} K_{rp} \quad (3-11)$$

K_{mp} - определяется по формуле [8, с. 262]

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n \quad (3-12)$$

Где $\sigma_B = 710 \text{ МПа}$ – фактический параметр

$n = 0,75$ – определены по табл. 9 [8, с. 264]

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n = \left(\frac{710}{750} \right)^{0,75} = 0,96$$

Значения коэффициентов определяем по табл. 23 [8, с. 275]:

$$K_{fp} = 1,08; K_{yp} = 1; K_{lp} = 1; K_{rp} = 1.$$

$$K_p = K_{mp} K_{fp} K_{yp} K_{lp} K_{rp} = 0,96 \times 1,08 \times 1 \times 1 \times 1 = 1,04$$

Сила резания:

$$P_z = 10 C_p t^x s^y v^n K_p = 10 \times 300 \times 1^1 \times 0,8^{0,75} \times 144,66^{-0,15} \times 1,04 = 1251 \text{ Н}$$

6) Мощность резания [8, с. 371]:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{1251 \cdot 127}{1020 \cdot 60} = 2,6 \text{ кВт}$$

7) Мощность привода главного движения:

$$N_{пр} = \frac{N_e}{\eta} = \frac{2,6}{0,75} = 3,45 \text{ кВт};$$

Б) точение внутренней поверхности

Выбираем материал режущего инструмента в соответствии с рекомендациями [8, с. 116] – Т15К6.

1) В соответствии с требованиями к точности размеров и шероховатости поверхности, указать глубину резания обработки: $t=3$ мм.

2) Назначьте подача S в соответствии с таблицей 11 [8, с.266].

$$S=0,8\text{ММ/обо}$$

3) Скорость резания определяется по формуле:

$$v = \frac{C_v}{T^m t^x S^y} \cdot K_v$$

Стойкости инструмента принимаем: $T = 30$ мин.

Значения коэффициентов: определены по таблице 17[8, с.266]

$$C_v = 280; m = 0,2; x = 0,15; y = 0,45$$

Коэффициент K_v :

$$K_v = K_{Mv} \cdot K_{Пv} \cdot K_{Иv},$$

Определяем формулу по таблице 1 [8, с. 358]:

$$K_{MV} = K_{\Gamma} \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v} = 0,85 \cdot \left(\frac{750}{710} \right)^{1,0} = 0,90$$

По таблице 2 [8, с. 359]: $K_r = 0,85$;

По таблице 2 [8, с. 361]: $n_v = 1,0$;

По таблице 5 [8, с. 361]: $K_{Пv} = 0,9$;

По таблице 6 [8, с. 361]: $K_{Иv} = 1$.

Окончательно коэффициент K_v определяется как:

$$K_v = K_{MV} \cdot K_{Пv} \cdot K_{Иv} = 0,90 \cdot 0,9 \cdot 1 = 0,81;$$

$$v = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot s^y} K_v = \frac{280}{30^{0,2} \cdot 3^{0,15} \cdot 0,8^{0,45}} \cdot 0,81 = 108 \text{ м/мин};$$

4) Расчет скорости вращения шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 108}{\pi \cdot 127} = 270,8 \text{ об/мин};$$

Принимаем фактическая скорость вращения шпинделя

$$n = 271 \text{ об/мин}$$

5) Определяем основные составляющие силы резания по формуле [8, с. 271]:

$$P_z = 10 C_p t^x s^y v^n K_p$$

Значения коэффициентов определяем по таблице 22 [8, с. 272]:

$$C_p = 300 \quad x = 1,0 \quad y = 0,75 \quad n = -0,15$$

Коэффициент K_p определяется по формуле [8, с. 371]:

$$K_p = K_{mp} K_{fp} K_{yp} K_{lp} K_{rp}$$

K_{mp} - определяется по формуле [8, с. 262]

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n$$

Где $\sigma_B = 710 \text{ Мпа}$ – фактический параметр

$n = 0,75$ – определены по табл. 9 [8, с. 264]

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n = \left(\frac{710}{750} \right)^{0,75} = 0,96$$

Значения коэффициентов определяем по табл. 23 [8, с. 275]:

$$K_{fp} = 1,08; K_{yp} = 1; K_{lp} = 1; K_{rp} = 1.$$

$$K_p = K_{mp} K_{fp} K_{yp} K_{lp} K_{rp} = 0,96 \times 1,08 \times 1 \times 1 \times 1 = 1,04$$

Сила резания:

$$P_z = 10 C_p t^x s^y v^n K_p = 10 \times 300 \times 3^1 \times 0,8^{0,75} \times 108^{-0,15} \times 1,04 = 1300 \text{ Н}$$

6) Мощность резания [8, с. 371]:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{1300 \cdot 108}{1020 \cdot 60} = 2,29 \text{ кВт}$$

7) Мощность привода главного движения:

$$N_{\text{пр}} = \frac{N_e}{\eta} = \frac{2,29}{0,75} = 3,05 \text{ кВт};$$

В) точение фаски

Выбираем материал режущего инструмента в соответствии с рекомендациями [8, с. 116] – Т15К6.

1) В соответствии с требованиями к точности размеров и шероховатости поверхности, указать глубину резания обработки: $t=0,5$ мм.

2) Назначьте подача S в соответствии с таблицей 11 [8, с.266].

$$S=0,8 \text{ мм/обо}$$

3) Скорость резания определяется по формуле:

$$v = \frac{C_v}{T^m t^x S^y} \cdot K_v$$

Стойкости инструмента принимаем: $T = 30$ мин.

Значения коэффициентов: определены по таблице 17 [8, с.266]

$$C_v = 280; m = 0,2; x = 0,15; y = 0,45$$

Коэффициент K_v :

$$K_v = K_{Mv} \cdot K_{Пv} \cdot K_{Иv},$$

Определяем формулу по таблице 1 [8, с. 358]:

$$K_{MV} = K_{\Gamma} \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v} = 0,85 \cdot \left(\frac{750}{710} \right)^{1,0} = 0,90$$

По таблице 2 [8, с. 359]: $K_r = 0,85$;

По таблице 2 [8, с. 361]: $n_v = 1,0$;

По таблице 5 [8, с. 361]: $K_{пv} = 0,9$;

По таблице 6 [8, с. 361]: $K_{ив} = 1$.

Окончательно коэффициент K_v определяется как:

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{пv} \cdot K_{ив} = 0,90 \cdot 0,9 \cdot 1 = 0,81;$$

$$v = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot s^y} K_v = \frac{280}{30^{0,2} \cdot 0,5^{0,15} \cdot 0,8^{0,45}} \cdot 0,81 = 140 \text{ м/мин};$$

4) Расчет скорости вращения шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 140}{\pi \cdot 127} = 351,07 \text{ об/мин};$$

Принимаем фактическая скорость вращения шпинделя

$$n = 351 \text{ об/мин}$$

5) Определяем основные составляющие силы резания по формуле [8, с. 271]:

$$P_z = 10 C_p t^x s^y v^n K_p$$

Значения коэффициентов определяем по таблице 22 [8, с. 272]:

$$C_p = 300 \quad x = 1,0 \quad y = 0,75 \quad n = -0,15$$

Коэффициент K_p определяется по формуле [8, с. 371]:

$$K_p = K_{mp} K_{фp} K_{\gamma p} K_{\lambda p} K_{гр}$$

K_{mp} - определяется по формуле [8, с. 262]

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n$$

Где $\sigma_B = 710 \text{ Мпа}$ – фактический параметр

$n = 0,75$ – определены по табл. 9 [8, с. 264]

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n = \left(\frac{710}{750} \right)^{0,75} = 0,96$$

Значения коэффициентов определяем по табл. 23 [8, с. 275]:

$$K_{\text{фр}}=1,08; K_{\text{γр}}=1; K_{\text{λр}}=1; K_{\text{гр}}=1.$$

$$K_p = K_{\text{мр}} K_{\text{фр}} K_{\text{γр}} K_{\text{λр}} K_{\text{гр}} = 0,96 \times 1,08 \times 1 \times 1 \times 1 = 1,04$$

Сила резания:

$$P_z = 10 C_p t^x s^y v^n K_p = 10 \times 300 \times 0,5^1 \times 0,8^{0,75} \times 140^{-0,15} \times 1,04 = 628 \text{ Н}$$

6) Мощность резания [8, с. 371]:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{628 \cdot 140}{1020 \cdot 60} = 1,43 \text{ кВт}$$

7) Мощность привода главного движения:

$$N_{\text{пр}} = \frac{N_e}{\eta} = \frac{1,43}{0,75} = 1,9 \text{ кВт};$$

Г) подрезание торца

Выбираем материал режущего инструмента в соответствии с рекомендациями [8, с. 116] – Т15К6.

1) В соответствии с требованиями к точности размеров и шероховатости поверхности, указать глубину резания обработки: $t=0,72 \text{ мм}$.

2) Назначьте подача S в соответствии с таблицей 11 [8, с.266].

$$S=0,8 \text{ мм/обо}$$

3) Скорость резания определяется по формуле:

$$v = \frac{C_v}{T^m t^x s^y} \cdot K_v$$

Стойкости инструмента принимаем: $T = 30 \text{ мин}$.

Значения коэффициентов: определены по таблице 17 [8, с.266]

$$C_v = 280; m = 0,2; x = 0,15; y = 0,45$$

Коэффициент K_v :

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{pv} \cdot K_{iv},$$

Определяем формулу по таблице 1 [8, с. 358]:

$$K_{mv} = K_r \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v} = 0,85 \cdot \left(\frac{750}{710} \right)^{1,0} = 0,90$$

По таблице 2 [8, с. 359]: $K_r = 0,85$;

По таблице 2 [8, с. 361]: $n_v = 1,0$;

По таблице 5 [8, с. 361]: $K_{pv} = 0,9$;

По таблице 6 [8, с. 361]: $K_{iv} = 1$.

Окончательно коэффициент K_v определяется как:

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{pv} \cdot K_{iv} = 0,90 \cdot 0,9 \cdot 1 = 0,81;$$

$$v = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot s^y} K_v = \frac{280}{30^{0,2} \cdot 0,72^{0,15} \cdot 0,8^{0,45}} \cdot 0,81 = 133 \text{ м/мин};$$

4) Расчет скорости вращения шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 133}{\pi \cdot 127} = 333,51 \text{ об/мин};$$

Принимаем фактическая скорость вращения шпинделя

$$n = 334 \text{ об/мин}$$

5) Определяем основные составляющие силы резания по формуле [8, с. 271]:

$$P_z = 10 C_p t^x s^y v^n K_p$$

Значения коэффициентов определяем по таблице 22 [8, с. 272]:

$$C_p = 300 \quad x = 1,0 \quad y = 0,75 \quad n = -0,15$$

Коэффициент K_p определяется по формуле [8, с. 371]:

$$K_p = K_{mp} K_{fp} K_{yp} K_{\lambda p} K_{rp}$$

K_{mp} - определяется по формуле [8, с. 262]

$$K_{\text{мр}} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n$$

Где $\sigma_B=710\text{Мпа}$ – фактический параметр

$n=0,75$ – определены по табл. 9 [8,с. 264]

$$K_{\text{мр}} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n = \left(\frac{710}{750}\right)^{0,75} = 0,96$$

Значения коэффициентов определяем по табл. 23 [8,с. 275]:

$K_{\text{фр}}=1,08$; $K_{\text{γр}}=1$; $K_{\text{λр}}=1$; $K_{\text{гр}}=1$.

$K_p=K_{\text{мр}}K_{\text{фр}}K_{\text{γр}}K_{\text{λр}}K_{\text{гр}}=0,96\times 1,08\times 1\times 1\times 1=1,04$

Сила резания:

$P_z=10C_p t^x s^y v^n K_p=10\times 300\times 0,72^1 \times 0,8^{0,75} \times 133^{-0,15}\times 1,04=912\text{Н}$

6)Мощность резания [8,с. 371]:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{912 \cdot 133}{1020 \cdot 60} = 2,08\text{кВт}$$

7)Мощность привода главного движения:

$$N_{\text{пр}} = \frac{N_e}{\eta} = \frac{2,08}{0,75} = 2,77 \text{ кВт};$$

Д) точение наружной поверхности

Выбираем материал режущего инструмента в соответствии с рекомендациями [8, с. 116] – Т15К6.

1) В соответствии с требованиями к точности размеров и шероховатости поверхности, указать глубину резания обработки: $t=3 \text{ мм}$.

2) Назначьте подача S в соответствии с таблицей 11 [8, с.266].

$S=0,8\text{мм/обо}$

3) Скорость резания определяется по формуле:

$$v = \frac{C_v}{T^m t^x s^y} \cdot K_v$$

Стойкости инструмента принимаем: $T = 30$ мин.

Значения коэффициентов: определены по таблице 17[8, с.266]

$$C_v = 280; m = 0,2; x = 0,15; y = 0,45$$

Коэффициент K_v :

$$K_v = K_{Mv} \cdot K_{Пv} \cdot K_{Иv},$$

Определяем формулу по таблице 1 [8, с. 358]:

$$K_{MV} = K_{\Gamma} \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v} = 0,85 \cdot \left(\frac{750}{710} \right)^{1,0} = 0,90$$

По таблице 2 [8, с. 359]: $K_{\Gamma} = 0,85$;

По таблице 2 [8, с. 361]: $n_v = 1,0$;

По таблице 5 [8, с. 361]: $K_{Пv} = 0,9$;

По таблице 6 [8, с. 361]: $K_{Иv} = 1$.

Окончательно коэффициент K_v определяется как:

$$K_v = K_{Mv} \cdot K_{Пv} \cdot K_{Иv} = 0,90 \cdot 0,9 \cdot 1 = 0,81;$$

$$v = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot s^y} K_v = \frac{280}{30^{0,2} \cdot 3^{0,15} \cdot 0,8^{0,45}} \cdot 0,81 = 108 \text{ м/мин};$$

4) Расчет скорости вращения шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 108}{\pi \cdot 127} = 270,8 \text{ об/мин};$$

Принимаем фактическая скорость вращения шпинделя

$$n = 271 \text{ об/мин}$$

5) Определяем основные составляющие силы резания по формуле[8,с. 271]:

$$P_z = 10 C_p t^x s^y v^n K_p$$

Значения коэффициентов определяем по таблице 22 [8, с. 272]:

$$C_p = 300 \quad x = 1,0 \quad y = 0,75 \quad n = -0,15$$

Коэффициент K_p определяется по формуле [8, с. 371]:

$$K_p = K_{mp} K_{fp} K_{yp} K_{lp} K_{rp}$$

K_{mp} - определяется по формуле [8, с. 262]

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n$$

Где $\sigma_B = 710$ МПа – фактический параметр

$n = 0,75$ – определены по табл. 9 [8, с. 264]

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n = \left(\frac{710}{750} \right)^{0,75} = 0,96$$

Значения коэффициентов определяем по табл. 23 [8, с. 275]:

$$K_{fp} = 1,08; K_{yp} = 1; K_{lp} = 1; K_{rp} = 1.$$

$$K_p = K_{mp} K_{fp} K_{yp} K_{lp} K_{rp} = 0,96 \times 1,08 \times 1 \times 1 \times 1 = 1,04$$

Сила резания:

$$P_z = 10 C_p t^x s^y v^n K_p = 10 \times 300 \times 3^1 \times 0,8^{0,75} \times 108^{-0,15} \times 1,04 = 1300 \text{ Н}$$

6) Мощность резания [8, с. 371]:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{1300 \cdot 108}{1020 \cdot 60} = 2,29 \text{ кВт}$$

7) Мощность привода главного движения:

$$N_{пр} = \frac{N_e}{\eta} = \frac{2,29}{0,75} = 3,05 \text{ кВт};$$

Е) точение фаски

Выбираем материал режущего инструмента в соответствии с рекомендациями [8, с. 116] – Т15К6.

1) В соответствии с требованиями к точности размеров и шероховатости поверхности, указать глубину резания обработки: $t=0,5$ мм.

2) Назначьте подача S в соответствии с таблицей 11 [8, с.266].

$S=0,8$ мм/обо

3) Скорость резания определяется по формуле:

$$v = \frac{C_v}{T^m t^x S^y} \cdot K_v$$

Стойкости инструмента принимаем: $T = 30$ мин.

Значения коэффициентов: определены по таблице 17[8, с.266]

$$C_v = 280; m = 0,2; x = 0,15; y = 0,45$$

Коэффициент K_v :

$$K_v = K_{Mv} \cdot K_{Пv} \cdot K_{Иv},$$

Определяем формулу по таблице 1 [8, с. 358]:

$$K_{MV} = K_{\Gamma} \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v} = 0,85 \cdot \left(\frac{750}{710} \right)^{1,0} = 0,90$$

По таблице 2 [8, с. 359]: $K_{\Gamma} = 0,85$;

По таблице 2 [8, с. 361]: $n_v = 1,0$;

По таблице 5 [8, с. 361]: $K_{Пv} = 0,9$;

По таблице 6 [8, с. 361]: $K_{Иv} = 1$.

Окончательно коэффициент K_v определяется как:

$$K_v = K_{MV} \cdot K_{Пv} \cdot K_{Иv} = 0,90 \cdot 0,9 \cdot 1 = 0,81;$$

$$v = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} K_v = \frac{280}{30^{0,2} \cdot 0,5^{0,15} \cdot 0,8^{0,45}} \cdot 0,81 = 140 \text{ м/мин};$$

4) Расчет скорости вращения шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 140}{\pi \cdot 127} = 351,07 \text{ об/мин};$$

Принимаем фактическая скорость вращения шпинделя

$$n = 351 \text{ об/мин}$$

5) Определяем основные составляющие силы резания по формуле [8, с. 271]:

$$P_z = 10 C_p t^x s^y v^n K_p$$

Значения коэффициентов определяем по таблице 22 [8, с. 272]:

$$C_p = 300 \quad x = 1,0 \quad y = 0,75 \quad n = -0,15$$

Коэффициент K_p определяется по формуле [8, с. 371]:

$$K_p = K_{mp} K_{fp} K_{yp} K_{lp} K_{rp}$$

K_{mp} - определяется по формуле [8, с. 262]

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n$$

Где $\sigma_B = 710 \text{ МПа}$ – фактический параметр

$n = 0,75$ – определены по табл. 9 [8, с. 264]

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n = \left(\frac{710}{750} \right)^{0,75} = 0,96$$

Значения коэффициентов определяем по табл. 23 [8, с. 275]:

$$K_{fp} = 1,08; K_{yp} = 1; K_{lp} = 1; K_{rp} = 1.$$

$$K_p = K_{mp} K_{fp} K_{yp} K_{lp} K_{rp} = 0,96 \times 1,08 \times 1 \times 1 \times 1 = 1,04$$

Сила резания:

$$P_z = 10 C_p t^x s^y v^n K_p = 10 \times 300 \times 0,5^1 \times 0,8^{0,75} \times 140^{-0,15} \times 1,04 = 628 \text{ Н}$$

6) Мощность резания [8, с. 371]:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{628 \cdot 140}{1020 \cdot 60} = 1,43 \text{ кВт}$$

7) Мощность привода главного движения:

$$N_{\text{пр}} = \frac{N_e}{\eta} = \frac{1,43}{0,75} = 1,9 \text{ кВт};$$

3.9.2 Фрезерная обработка

А) Фрезерование пазов

Выбираем материал режущего инструмента в соответствии с рекомендациями [8, с. 116] – Р6М5.

1) В соответствии с требованиями к точности размеров и шероховатости поверхности, указать глубину фрезерования обработки: $t=5,5$ мм, ширину фрезерования: $B=6$ мм.

2) Назначьте подачу S_z в соответствии с таблицей 35 [8, с.266].

$$S_z=0,05 \text{ мм.}$$

3) Скорость резания определяется по формуле:

$$v = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S_z^y B^u Z^p} \cdot K_v \quad (3-13)$$

$$D=1,25B=7,5 \text{ мм}$$

Стойкости инструмента принимаем: $T = 80$ мин.

Значения коэффициентов: определены по таблице 39 [8, с.266]

$$C_v = 12; q = 0,3; m = 0,26; x = 0,3; y = 0,25; u = p = 0$$

Коэффициент K_v :

$$K_v = K_{Mv} \cdot K_{Пv} \cdot K_{Иv},$$

Определяем формулу по таблице 1 [8, с. 358]:

$$K_{MV} = K_{\Gamma} \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v} = 0,85 \cdot \left(\frac{750}{710} \right)^{1,0} = 0,90$$

По таблице 2 [8, с. 359]: $K_r = 0,85$;

По таблице 2 [8, с. 361]: $n_v = 1,0$;

По таблице 5 [8, с. 361]: $K_{ПV} = 0,9$;

По таблице 6 [8, с. 361]: $K_{ИV} = 1$.

Окончательно коэффициент K_v определяется как:

$$K_v = K_{MV} \cdot K_{ПV} \cdot K_{ИV} = 0,90 \cdot 0,9 \cdot 1 = 0,81;$$

$$v = \frac{C_v D^q}{T^m t^x s_z^y B^u Z^p} \cdot K_v = \frac{12 \cdot 7,5^{0,3}}{60^{0,26} \cdot 5,5^{0,3} \cdot 0,05^{0,25} \cdot 6^0 \cdot 4^0} \cdot 0,81 = 7,8 \text{ м/мин};$$

4) Расчет скорости вращения шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 7,8}{\pi \cdot 7,5} = 331,2 \text{ об/мин};$$

Принимаем фактическая скорость вращения шпинделя

$$n = 331 \text{ об/мин}$$

5) Определяем основные составляющие силы резания по формуле [8, с. 271]:

$$P_z = \frac{10 C_p t^x s_z^y B^u Z}{D^q n^w} K_{mp} \quad (3-14)$$

Значения коэффициентов определяем по таблице 22 [8, с. 272]:

$$C_p = 68,2 \quad x = 0,86 \quad y = 0,72 \quad u = 1 \quad n = 331 \quad q = 0,86 \quad w = 0$$

K_{mp} -определяется по формуле [8, с. 262]

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n$$

Где $\sigma_B = 710 \text{ МПа}$ – фактический параметр

$n = 0,75$ – определены по табл. 9 [8, с. 264]

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n = \left(\frac{710}{750} \right)^{0,75} = 0,96$$

Сила резания:

$$P_z = \frac{10 C_p t^x s_z^y B^u z}{D^q n^w} K_{MP} = \frac{10 \cdot 68,2 \cdot 5,5^{0,86} \cdot 0,05^{0,72} 6^{1,4}}{7,5^{0,86} \cdot 331^0} \cdot 0,96 = 1392 \text{ Н}$$

6) Мощность резания [8, с. 371]:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{1392 \cdot 7,8}{1020 \cdot 60} = 0,18 \text{ кВт}$$

7) Мощность привода главного движения:

$$N_{\text{пр}} = \frac{N_e}{\eta} = \frac{0,18}{0,75} = 0,24 \text{ кВт};$$

3.10 Расчет основного времени

Основное время для токарных операций определяем по формуле

$$T_o = \frac{L \cdot i}{n \cdot S} \quad (3-15)$$

Где

L –расчётная длина обработки, мм;

i –число рабочих ходов;

n –частота вращения шпинделя, об/мин;

S –подача, мм/об или мм/мин.

Расчётная длина обработки

$$L = l + l_b + l_{\text{сх}} + l_{\text{пл}} \quad (3-16)$$

Где

l –размер детали на данном переходе, мм;

l_b –величина врезания инструмента, мм;

$l_{\text{сх}}$ –величина схода инструмента, мм;

$l_{\text{пл}}$ –величина подвода инструмента, мм.

Принимаем: $l_{\text{сх}} = l_{\text{пл}} = 1 \text{ мм}$

величина врезания инструмента:

$$l_B = \frac{t}{tg\varphi} \quad (3-17)$$

Где t –глубина резания, мм

φ –угол в плане.

Тогда окончательная формула для определения основного времени:

$$T_0 = \frac{(l + t/tg\varphi + l_{cx} + l_{нд}) \cdot i}{n \cdot s} \quad (3-18)$$

I. Для первой операций (токарная с ЧПУ)

а) Переход 1: подрезание торца

$$T_0 = \frac{L \cdot i}{n \cdot s} = \frac{(l + t/tg\varphi + l_{cx} + l_{нд}) \cdot i}{n \cdot s} = \frac{(1 + 1/tg30^\circ + 1 + 1) \cdot 1}{319 \cdot 0,8} = 0,011$$

б) Переход 2: точение внутренней поверхности

$$T_0 = \frac{L \cdot i}{n \cdot s} = \frac{(l + t/tg\varphi + l_{cx} + l_{нд}) \cdot i}{n \cdot s} = \frac{(120 + 3/tg30^\circ + 1 + 1) \cdot 2}{271 \cdot 0,8} = 1,14$$

с) Переход 3: точение фаски

$$T_0 = \frac{L \cdot i}{n \cdot s} = \frac{(l + t/tg\varphi + l_{cx} + l_{нд}) \cdot i}{n \cdot s} = \frac{(0,5 + 0,5/tg30^\circ + 1 + 1) \cdot 2}{351 \cdot 0,8} = 0,017$$

д) Переход 3 : подрезание торца

$$T_0 = \frac{L \cdot i}{n \cdot s} = \frac{(l + t/tg\varphi + l_{cx} + l_{нд}) \cdot i}{n \cdot s} = \frac{(0,72 + 0,72/tg30^\circ + 1 + 1) \cdot 1}{334 \cdot 0,8}$$

е) Переход 3: точение наружной поверхности

$$T_o = \frac{L \cdot i}{n \cdot s} = \frac{(l + t/tg\varphi + l_{cx} + l_{нд}) \cdot i}{n \cdot s} = \frac{(118 + 3/tg30^\circ + 1 + 1) \cdot 2}{271 \cdot 0,8} = 1,12$$

ф) Переход 4: точение фаски

$$T_o = \frac{L \cdot i}{n \cdot s} = \frac{(l + t/tg\varphi + l_{cx} + l_{нд}) \cdot i}{n \cdot s} = \frac{(0,5 + 0,5/tg30^\circ + 1 + 1) \cdot 2}{351 \cdot 0,8} = 0,017$$

II. Для второй операции (фрезерная с ЧПУ)

а) Фрезерование пазов

$$T_o = \frac{L \cdot i}{n \cdot s} = \frac{(l + t/tg\varphi + l_{cx} + l_{нд}) \cdot i}{n \cdot s} = \frac{(50 + 5,5 + 1 + 1) \cdot 48}{331 \cdot 0,05} = 27,8$$

Заключение

По влиянию термической обработки на механические свойства стали, получается что, термическая обработка стали в основном изменяет внутренний химический состав, структуру, размер зерна, содержание аустенита, мартенсита и феррита в стали, что влияет на механические свойства стали. Температура закалки, среда охлаждения, температура отпуска, время нагрева и охлаждения, эти являются важными факторами результата термообработки. Чтобы получить ожидаемые механические свойства стали, надо выбрать наиболее разумный метод термообработки с помощью контрольных экспериментов.

Анализируется механические свойства сталей (материалы-заменители) после термообработки, сталь 60C2A, 40X, 30ХГСА имеют лучшие характеристики, и для этих сталей проводится расчет в Ансис. С помощью Ансис, получается максимальная нагрузка пружины из различных сталей, и место разрушения пружины при нагрузке. По сравнению с пружинами из других материалов, пружина из Стали 60C2A может выдерживать больше нагрузку, максимальная нагрузка является 13421Н, Поэтому рекомендую выбрать сталь 60C2A для изготовления детали «пружина», результаты моделирования методом конечных элементов в ANSYS согласуются с данными наблюдаемыми в реальности.

Хотя сталь 60C2A имеет наиболее свойства для изготовления детали «пружина», но невозможно получить трубу. Если выбираем сталь 60C2A, обрабатываем из прутка, будет дорого, долго и нетехнологично. Сталь

30ХГСА имеет немного хуже механические свойства, но для стали 30ХГСА бывает труба, поэтому выбираем ее. И по структуры деталь, создан технологический процесс изготовления детали «Пружина» из стали 30ХГСА. И по режиму термообработки стали 30ХГСА, проводится термообработка для детали.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ
И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ91	Тай Хуэймин

Школа	ИШНПТ	Отделение Школа	Материаловедение
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.01Машиностроение

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления во внебюджетные фонды 30 %</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Анализ конкурентных технических решений (НИ)</i>	<i>Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ</i>
2. <i>Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)</i>	<i>Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования</i>
3. <i>Составление бюджета инженерного проекта (НИ)</i>	<i>Расчет бюджетной стоимости НИ</i>
4. <i>Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИ)</i>	<i>Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности.</i>

Перечень графического материала

1. Оценка конкурентоспособности ИП 2. Матрица SWOT 3. Диаграмма Ганта 4. Бюджет НИ 5. Основные показатели эффективности НИ
--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.02.21
---	----------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кашук Ирина Вадимовна	к.т.н доцент		08.02.21

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ91	Тай Хуэймин		08.02.21

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Введение

Основная цель данного раздела – оценить перспективность развития и планировать финансовую и коммерческую ценность конечного продукта, представленного в рамках исследовательской работы. Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на следующие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, каков бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала разработки.
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности

исследования.

Целью работы является моделирования состояния пружины при нагрузке, и выбор материала с хорошими характеристиками для производства и обработки пружины.

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1.1 Анализ конкурентных технических решений

В ходе исследования были рассмотрены две конкурирующие работы

1) Провести расчеты напряженно-деформированного состояния детали «Пружина» с использованием метода конечных элементов в программном пакете ANSYS.

2) Проанализировать распределение нагрузок в детали и сравнить с реальными данными.

Таблица 4.1 – Сравнение конкурентных технических решений (исследовательских работ).

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентно-способность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Актуальность исследования	0,11	5	3	4	0,5	0,4	0,4
2. Энергоэкономичность	0,15	4	4	4	0,65	0,65	0,39
3. Время расчеты в ansys	0,08	5	5	3	0,4	0,39	0,24
4. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,07	4	5	4	0,28	0,28	0,21
5. Надёжность	0,1	4	4	5	0,48	0,48	0,62
6. Эффективность работы	0,12	3	4	3	0,55	0,54	0,46
7. Безопасность	0,09	5	5	4	0,45	0,45	0,36
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Цена на расходы	0,11	5	4	3	0,53	0,52	0,37
2. Конкурентоспособность исследовательской работы	0,08	4	3	3	0,46	0,38	0,43
3. Финансирование научного исследования	0,09	5	4	4	0,42	0,33	0,32
Итого	1	44	41	37	4,72	4,42	3,8

Расчет конкурентоспособности, на примере надёжности второго конкурента, определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \times \text{Б}_i = 0,1 \times 5 = 0,5 \quad (4.1)$$

Где:

K – конкурентоспособность проекта;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

Б_i – балл показателя;

Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что исследование является наиболее актуальным и перспективным, имеет конкурентоспособность.

4.1.2 SWOT-анализ

Для исследования внешней и внутренней среды проекта, в этой работе проведен SWOT-анализ с детальной оценкой сильных и слабых сторон исследовательского проекта, а также его возможностей и угроз.

Первый этап, составляется матрица SWOT, в которую описаны слабые и сильные стороны проекта и выявленные возможности и угрозы для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде, приведены в таблице 4.2:

Таблица 4.2 – Матрица SWOT-анализа

Сильные стороны	Слабые стороны
С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.	Сл1. Установить ANSYS на компьютер сложнее
С2. Более точные результаты исследования по сравнению с другими технологиями.	Сл2. Долгое время подготовки к моделированию пружины .
С3. Более свежая информация, которая была использована для разработки проекта.	Сл3. Высокие требования к постановке внутренних настройки в программу ANSYS.
С4. Более перспективный способ изучения в данной сфере.	Сл4. Эксперименты имеют большие погрешности и неопределенности.
С5. Квалифицированный персонал.	Сл5. Долгое время для определения нагрузки
Возможности	Угрозы
В1. Появление дополнительного спроса на полученные результаты исследования в учебной сфере.	У1. Отсутствие спроса на новые результаты исследования в частных предприятиях.
В2. Появление потенциального спроса на новые разработки в дальнейшие технологии машиностроения.	У2. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок.
В3. Использование в сфере машиностроения	

На втором этапе на основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надёжность его реализации. Соотношения параметров представлены в таблицах 4.3 – 4.6:

Таблица 4.3 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны».

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	B1	-	-	+	-	-
	B2	+	-	-	+	-
	B3	+	-	-	+	-

Таблица 4.4 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны».

Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	B1	-	-	-	-	-
	B2	-	-	-	-	-
	B3	-	+	+	-	+

Таблица 4.5 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны».

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	У1	-	-	-	+	-
	У2	-	+	-	-	-

Таблица 4.6 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны».

Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	-	-	-	-	-
	У2	-	-	-	+	-

Результаты анализа представлены в итоговую таблицу 4.7.

Таблица 4.7 – Итоговая таблица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта</p> <p>С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.</p> <p>С2. Более точные результаты исследования по сравнению с другими технологиями.</p> <p>С3. Более свежая информация, которая была использована для разработки проекта.</p> <p>С4. Более перспективный способ изучения в данной сфере.</p> <p>С5. Квалифицированный персонал.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта</p> <p>Сл1. Установить ANSYS на компьютер сложнее</p> <p>Сл2. Долгое время подготовки к моделированию пружины .</p> <p>Сл3. Высокие требования к постановке внутренних настройки в программу ANSYS.</p> <p>Сл4. Эксперименты имеют большие погрешности и неопределенности.</p> <p>Сл5. Долгое время для определения нагрузки.</p>
<p>Возможности</p> <p>В1. Появление дополнительного спроса на полученные результаты исследования в учебной сфере.</p> <p>В2. Появление потенциального спроса на новые разработки в дальнейшие технологии машиностроения.</p> <p>В3. Использование в сфере машиностроения</p>	<p>Направления развития</p> <p>В1С3. Более свежая информация, которая была использована для разработки проекта, что соответствует дополнительному спросу на полученные результаты исследования в учебной сфере.</p> <p>В2В3С1С4. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии и перспективный способ изучения соответствуют потенциальному спросу в дальнейшие технологии машиностроения и внедрению технологии в аэрокосмической области.</p>	<p>Сдерживающие факторы</p> <p>В3Сл2Сл3Сл5. Внедрение технологии в машиностроительной области требует долгого времени к подготовке моделирования и высококвалифицированных знаний о программе ANSYS</p>
<p>Угрозы</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые результаты исследования в частных</p>	<p>Угрозы развития</p> <p>У1С4. Несмотря на отсутствие спроса на новые результаты исследования в частных предприятиях, наши исследования обладают высокой</p>	<p>Уязвимости:</p> <p>У2Сл4. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок угрожает полученным результатам исследования за счёт их</p>

предприятиях. У2. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок.	перспективностью в данной сфере. У2С2. Более точные результаты исследования по сравнению с другими технологиями и более свежие результаты по сравнению с зарубежными аналогами.	погрешности и неопределенности в некоторых случаях.
--	--	---

В результате SWOT - анализа показано, что высокие точности полученных результатов при правильной установке программы ANSYS данной работы и её перспективы преобладают над её недостатками, которые невозможно все устранены на практике и в теории. Результаты анализа учтены в дальнейшей научно-исследовательской разработке.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение количества исполнителей для каждой из работ;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований;

Для оптимизации работ удобно использовать классический метод линейного планирования и управления.

Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Порядок этапов работ и распределение исполнителей для данной научно-исследовательской работы, приведен в таблице 4.8:

Таблица 4.8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка темы диссертации	1	Составление и утверждение темя диссертации, утверждение плана-графика.	Научный руководитель
	2	Календарное планирование выполнения диссертации.	Инженер, Научный руководитель
Теоретические исследования	3	Изучение литературы	Инженер
	4	Изучение программного обеспечения ANSYS.	Инженер
Экспериментальные исследования	5	Добавление материалов и создание 3D модели пружины, составление опоры и нагрузка в программу ANSYS для эксперимента.	Инженер

	6	Настроить программу по реальным условиям и введение целесообразных критерий исследования.	Инженер, Научный руководитель
	7	Проведение компьютерного эксперимента.	Инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Обработка полученных данных.	Инженер
	9	Оценка правильности полученных результатов.	Инженер, Научный руководитель
Оформление отчета по НИР	10	Составление пояснительной записки.	Инженер

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

При проведении научных исследований основную часть стоимости разработки составляют трудовые затраты, поэтому определение трудоемкости проводимых работ является важным этапом составления бюджета.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости использована следующая формула:

$$t_{oji} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} \quad (4.2)$$

Где:

t_{oji} – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, человеко-дни;

t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни;

t_{maxi} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни;

Зная величину ожидаемой трудоемкости, можно определить продолжительность каждой i -ой работы в рабочих днях T_{pi} , при этом учитывается параллельность выполнения работ разными исполнителями. Данный расчёт позволяет определить величину заработной платы.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} \quad (4.3)$$

Где:

T_{pi} – продолжительность одной работы, рабочие дни;

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дни;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел;

Для перевода длительности каждого этапа из рабочих в календарные дни, необходимо воспользоваться формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \times k \quad (4.4)$$

Где:

T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

k – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{праз}}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48 \quad (4.5)$$

Где:

$T_{\text{кал}}$ – общее количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – общее количество выходных дней в году;

$T_{\text{праз}}$ – общее количество праздничных дней в году;

Расчеты временных показателей проведения научного исследования представляются в таблице 4.9:

Таблица 4.9 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{Pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{mini} , чел-дни		t_{maxi} , чел-дни		$t_{ожи}$, чел-дни			
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Составление и утверждение тема диссертации, утверждение плана-графика.	3	-	7	-	4,6	-	4,6	6,8
2. Календарное планирование выполнения диссертации.	1	2	3	4	1,8	2,8	2,3	2,71
3. Чтение литературы	-	30	-	45	-	36	36	53,28
4. Изучение программного обеспечения для моделирования обработки ANSYS.	-	20	-	35	-	26	26	38,48
5. Добавление материалов и создание3D модели пружины, составление опоры и нагрузка в программу ANSYS для эксперимента.	-	8	-	12	-	9,6	9,6	14,21
6. Настроить программу по реальным условиям и введение целесообразных критерий исследования.	25	65	30	80	27	71	51	72,52
7. Проведение компьютерного эксперимента.	-	10	-	15	-	12	12	17,76

8. Обработка полученных данных.	-	20	-	30	-	24	24	35,52
9. Оценка правильности полученных результатов.	3	8	5	10	3,8	8,8	6,3	9
10. Составление пояснительной записки.	-	20	-	40	-	28	28	41
Итого:	32	183	45	271	37,2	218,2	219	294,28


Примечание:

Исп.1 – научный руководитель; Исп.2 – инженер;

На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта (таблица 4.10).

Таблица 4.10 – Диаграмма Ганта

№	Виды работ	Исп	T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность работ								
				август – октябрь			ноябрь – январь			февраль – апрель		
				8	9	10	11	12	1	2	3	4
1	Составление и утверждение темя диссертации, утверждение плана-графика.	Исп1	7									
2	Календарное планирование выполнения диссертации.	Исп1 Исп2	3									
3	Чтение литературы	Исп2	54									
4	Изучение программного обеспечения для моделирования обработки ANSYS	Исп2	39									
5	Добавление материалов и создание3D модели пружины, составление опоры и нагрузка в программу ANSYS для эксперимента.	Исп2	15									
6	Настроить программу по реальным условиям и введение целесообразных критерий исследования.	Исп1 Исп2	76									
7	Проведение компьютерного	Исп2	18									

№	Виды работ	Исп	T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность работ								
				август – октябрь			ноябрь – январь			февраль – апрель		
				8	9	10	11	12	1	2	3	4
	эксперимента.											
8	Обработка полученных данных.	Исп2	36									
9	Оценка правильности полученных результатов.	Исп1 Исп2	9							 		
10	Составление пояснительной записки.	Исп2	41									

Примечание:



– Исп. 1 (научный руководитель);



– Исп. 2 (инженер);

4.3 Бюджет научно-технического исследования.

При планировании бюджета научно-технического исследования учитывались все виды расходов, связанных с его выполнением. В этой работе использовать следующую группировку затрат по следующим статьям:

- материальные затраты научно-исследовательской работы (НИР);
- затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы НИР.

4.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

Данная часть включает затрат всех материалов, используемых при исследовании. Результаты расчета затрат представлены в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Материальные затраты

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во, ед.	Сумма, руб.
Комплекс канцелярских принадлежностей	340	5	1 700
Картридж для лазерного принтера	3 490	1	3 490
Итого:			5190

4.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

Расчет сводится к определению амортизационных отчислений, так как оборудование было приобретено до начала выполнения данной работы и эксплуатировалось ранее, поэтому при расчете затрат на оборудовании учитываем только рабочие дни по данной теме.

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации: рассчитывается по формуле:

$$H_A = \frac{1}{n} \quad (4.6)$$

Где: n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{H_A \cdot I}{12} \times t \quad (4.7)$$

Где:

I – итоговая сумма, тыс. руб.; t – время использования, мес.

Таблица 4.12 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цены единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	ПЭВМ	1	4	65	65
Итого		65 тыс. руб.			

Рассчитывается норма амортизации для ноутбука, с учётом того, что срок полезного использования составляет 4 года (по формуле 4.6):

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{4} = 0,25$$

Общая сумма амортизационных отчислений (по формуле 4.7):

$$A = \frac{H_A \text{И}}{12} \times m = \frac{0,25 \times 65000}{12} \times 9 = 12187 \text{ руб}$$

4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \times T_p \quad (4.8)$$

Где:

$З_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата, руб.;

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дней. (по таблице 4.9 для инженера: $T_{p2} = 219$ дней, для руководителя: $T_{p1} = 38$ дней).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \times M}{F_{\text{д}}} = \frac{54600 \cdot 10,3}{246} = 2286 \text{ руб.} \quad (4.9)$$

Где:

$З_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дней;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

– при отпуске в 28 раб. дня – $M=11,2$ месяца, 5-дневная рабочая неделя;

– при отпуске в 56 раб. дней – $M=10,3$ месяца, 6-дневная рабочая неделя.

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \times M}{F_{\text{д}}} = \frac{29250 \cdot 11,2}{213} = 1538 \text{ руб.} \quad (4.10)$$

Должностной оклад работника за месяц по формуле:

– для руководителя:

$$З_{\text{м1}} = З_{\text{мс1}} \times (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \times k_{\text{р}} = 28000 \times (1 + 0,3 + 0,2) \times 1,3 = 54600 \text{ руб} \quad (4.11)$$

– для инженера:

$$З_{\text{м2}} = З_{\text{мс2}} \times (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \times k_{\text{р}} = 15000 \times (1 + 0,3 + 0,2) \times 1,3 \quad (4.12)$$

Где:

$З_{\text{мс}}$ – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб (для руководителя

$З_{\text{мс1}} = 28000$ руб, а для инженера $З_{\text{мс2}} = 15000$ руб);

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равен 0,3;

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2;

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томск);

Таблица 4.13 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	52/14	104/14
- выходные дни		
- праздничные дни		
Потери рабочего времени	48/5	24/10
- отпуск		
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	256	213

Таблица 4.14 – Расчеты основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$З_{мс}$, руб	$k_{пр}$	k_d	k_p	$З_m$, руб	$З_{дн}$, руб	T_p , дн	$З_{осн}$, руб
Руководитель	28000	0,3	0,2	1,3	54600	2286	38	86868
Инженер	15000	0,3	0,2	1,3	29250	1538	219	336822
Итого:								423690

4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы.

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для руководителя:

$$З_{доп} = k_{доп} \times З_{осн} = 0,15 \cdot 86868 = 13030,2 \text{руб.}$$

– для инженера:

$$З_{доп} = k_{доп} \times З_{осн} = 0,15 \cdot 336822 = 50523,3 \text{руб.}$$

Где:

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата;

$З_{осн}$ – основная заработная плата;

$k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,15);

4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).

Отчисления во внебюджетные фонды определяются по формуле:

– для руководителя:

$$З_{внеб1} = k_{внеб} \times (З_{осн1} + З_{доп1}) = 0,3 \times (86868 + 13030,2) = 29969,46 \text{руб}$$

– для инженера:

$$З_{внеб2} = k_{внеб} \times (З_{осн2} + З_{доп2}) = 0,3 \times (336822 + 50523,3)$$

Где:

$k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2021 году –30% (ст. 425 НК РФ).

4.3.6 Накладные расходы.

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и т.д.

Величина накладных расходов определяется по формуле 4.13:

$$З_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) k_{нр} \quad (4.13)$$

Где:

$k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,16.

4.3.7 Бюджетная стоимость НИР

Группировка затрат по статьям представляется в таблице 4.15:

Таблица 4.15 – Группировка затрат по статьям.

Статьи							
1	2	3	4	5	6	7	8
Материалы, руб	Амортизация, руб	Основная заработная плата, руб	Дополнительная заработная плата, руб	Отчисления на социальные нужды, руб	Итого без накладных расходов, руб	Накладные расходы, руб	Стоимость бюджета, руб
5190	1287	423690	63553,5	146173,05	639893,55	102382,968	742276,518

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется бюджет НИ **«Исследование состояния пружины при нагрузке»** по форме, приведенной в таблице 4.16. В таблице также представлено определение бюджета затрат двух конкурирующих научно-исследовательских проектов.

Таблица 4.16 – Группировка затрат по статьям

№	Наименование статьи	Сумма, руб.		
		Текущий Проект	Исп.2	Исп.3
1	Материальные затраты НИР	5190	6300	4750
2	Затраты на специальное оборудование	1287	2475	2600
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	423690	415230	376520
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	63553,5	64650	51260

5	Отчисления во внебюджетные фонды	146173,05	156275	135850
6	Накладные расходы	102352,968	105635	101265
Бюджет затрат НИР		742276,518	750565	672245

Где:

Исп.2 – Аналог 1, Исп.3- Аналог 2;

4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Для определения эффективности исследования рассчитан интегральный показатель эффективности научного исследования путем определения интегральных показателей финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

4.4.1 Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получен в процессе оценки бюджета затрат трех вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принят за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

В качестве аналогов данной НИР рассмотрены:

1) Провести расчеты напряженно-деформированного состояния детали «Пружина» с использованием метода конечных элементов в программном пакете ANSYS.

2) Проанализировать распределение нагрузок в детали и сравнить с реальными данными.

Интегральный финансовый показатель разработки рассчитывается по формуле 4.14:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{\text{pi}}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (4.14)$$

Где:

$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения из всех вариантов;

По перечисленным вычислениям определяются общие затраты для всех вариантов:

$$\Phi_{\text{текущ.проект}} = 742276,518 \text{руб}$$

$$\Phi_{\text{исп.1}} = 750565 \text{руб}$$

$$\Phi_{\text{исп.2}} = 672245 \text{руб},$$

$$\Phi_{max} = \Phi_{\text{исп.1}} = 750565 \text{руб}$$

По формуле 4,14 определяется интегральный финансовый показатель для текущего проекта:

$$I_{\text{финр}}^{\text{текущ.проект}} = \frac{\Phi_{\text{текущ.проект}}}{\Phi_{max}} = \frac{742276,518}{750565} = 0,98$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.1}} = \frac{\Phi_{\text{исп.1}}}{\Phi_{max}} = \frac{750565}{750565} = 1$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{\text{исп.2}}}{\Phi_{max}} = \frac{672245}{750565} = 0,896$$

В результате расчетов интегральных финансовых показателей по трем вариантам разработки текущий проект с меньшим перевесом признан считается более приемлемым с точки зрения финансовой эффективности.

4.4.2 Интегральные показатели ресурсоэффективности всех вариантов определяются путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (таблица 4.17).

Таблица 4.17 – Сравнительная оценка характеристик всех вариантов.

Объекты исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1. Безопасность при использовании установки	0,25	5	5	4
2. Стабильность работы	0,2	4	4	5
3. Технические характеристики	0,15	5	4	4
4. Механические свойства	0,25	5	4	3
5. Материалоёмкость	0,15	5	5	4
ИТОГО	1	4,8	4,4	3,95

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_p^{\text{текущ.проект}} = 0,25 \times 5 + 0,2 \times 4 + 0,15 \times 5 + 0,25 \times 5 + 0,15 \times 5 = 4,8$$

$$I_p^{\text{исп.1}} = 0,25 \times 5 + 0,2 \times 4 + 0,15 \times 4 + 0,25 \times 4 + 0,15 \times 5 = 4,4$$

$$I_p^{\text{исп.2}} = 0,25 \times 4 + 0,2 \times 5 + 0,15 \times 4 + 0,25 \times 3 + 0,15 \times 4 = 3,95$$

В результате расчетов интегральных показателей ресурсоэффективности по трем вариантам разработки текущий проект с большим перевесом признан считается более приемлемым с точки зрения ресурсной эффективности.

4.4.3 Интегральные показатели эффективности всех вариантов

вычисляются на основании показателей ресурсоэффективности и интегральных финансовых показателей по формуле 4.15:

$$I_{\text{эф.}i} = \frac{I_p^{\text{исп.}i}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}} \quad (4.15)$$

Где:

$I_{\text{эф.}i}$ – интегральный показатель эффективности i-ого варианта разработки;

$I_p^{исп.i}$ – интегральный показатель ресурсной эффективности i-ого варианта разработки;

$I_{финр}^{исп.i}$ - интегральный финансовый показатель i-ого варианта разработки;

По формуле 4.15 определяется интегральный показатель эффективности для текущего проекта:

$$I_{эф.текущ.проект} = \frac{I_p^{текущ.проект}}{I_{финр}^{текущ.проект}} = \frac{4,8}{0,98} = 4,898$$

По формуле 4.15 определяется интегральный показатель эффективности для первого конкурентного проекта:

$$I_{эф.исп.1} = \frac{I_p^{исп.1}}{I_{финр}^{исп.1}} = \frac{4,4}{1} = 4,4$$

По формуле 4.15 определяется интегральный показатель эффективности для второго конкурентного проекта:

$$I_{эф.исп.2} = \frac{I_p^{исп.2}}{I_{финр}^{исп.2}} = \frac{3,95}{0,896} = 4,408$$

Далее среднее значение интегрального показателя эффективности каждого варианта НИР сравнивалось с средним значением интегрального показателя эффективности текущего проекта с целью определения сравнительной эффективности проектов (таблица 4.18).

Таблица 4.18 – Сравнительные эффективности разработки.

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,98	1	0,896
2	Интегральный показатель	4,8	4,4	3,95

	ресурсоэффективности разработки			
3	Интегральный показатель эффективности	4,898	4,4	4,408
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,876	0.861

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволило сделать вывод о том, что наиболее финансовым и ресурсным эффективным вариантом является текущий проект. Наш проект является более эффективным по сравнению с конкурентами.

Выводы по разделу:

Вывод №1: результат анализа конкурентных технических решений заключается в том, что текущий проект является самым конкурентоспособным вариантом по сравнению с аналогами.

Вывод №2: в процессе планирования для руководителя и инженера построен график реализации данного этапа работ, который способствует оценке и планированию рабочих времени исполнителей. Общие количества дней для выполнения работ составляет 295 дней. Общие количества дней, в течение которых работал инженер, составляет 219 дней. Общие количества дней, в течение которых работал руководитель, составляет 38 дней.

Вывод №3: для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, значение которого составляет 742276,518 рублей. (требуемый затраты текущего проекта значительно меньше других конкурентных вариантов).

Вывод №4: Результаты оценки эффективности текущего проекта представляются ниже:

1) Значение интегрального финансового показателя текущего проекта составляет 0,98, которое показано, что текущий проект является более выгодным по сравнению с другими вариантами;

2) Значение интегрального показателя ресурсной эффективности текущего проекта составляет 4,8, по сравнению с 4,4 (первого конкурента) и 3,95 (второго конкурента);

3) Значение интегрального показателя эффективности текущего проекта составляет 4,898, по сравнению с 4,4 (первого конкурента) и 4,408 (второго конкурента);

конкурента), которое является наиболее высоким из всех вариантов. Это показано, что текущий проект является наиболее эффективным вариантом исполнения.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ91	Тай Хуэймин

Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	Материаловедение
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.01Машиностроение

Тема ВКР:

Разработка технологии изготовления и подбор режимов термообработки для детали «Пружина»	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<p>Объектом исследования является технологический процесс изготовления пружины.</p> <p>Рабочая зона– участок цеха.</p> <p>Область применения: автоматизация технологического процесса</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 09.03.2021)
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	1.Анализ показателей микроклимата 2.Анализ показателей шума 3.Анализ освещенности рабочей зоны 4. Анализ электробезопасности
3. Экологическая безопасность:	1.Защита селитебной зоны 2.Анализ воздействия объекта на атмосферу; 3.Анализ воздействия объекта на гидросферу; 4.Анализ воздействия объекта на литосферу;

	5.Разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможные ЧС на производстве: 1)Природного характера - воздействие низких температур 2)Техногенное возникновение пожара

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	09.03.21
---	-----------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Скачкова Л.А.	-		09.03.21

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ91	Тай Хуэймин		09.03.21

5 Социальная ответственность

Введение

При выполнении работы большая часть времени проводилась в 16А корпусе ТПУ.

В данном разделе рассмотрены вопросы организации рабочего места оператора станка с ЧПУ, в процессе производства детали «пружины», в соответствии с нормами производственной безопасности и охраны окружающей среды.

Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды: В лаборатории, где находится оргтехника могут быть следующие вредные факторы: а) некомфортные метеоусловия; б) вредные вещества; в) производственный шум; г) недостаточная освещенность.

Вопросы производственной и экологической безопасности рассматриваются с позиции исполнителя (оператор станка с ЧПУ), связанного непосредственно с изготовлением детали для изучения.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

На рисунке 1 показано спроектированное рабочее место.

Необходимыми требованиями являются обеспечение условий для безопасного ведения работ, соблюдение норм и правил техники безопасности, правил работы с электрооборудованием. Необходимо следить за концентрацией вредных веществ в воздухе, исправностью проводки, изоляции кабелей и пр., чтобы не допустить возникновения пожароопасных и взрывоопасных ситуаций.

Эксперименты проводятся под полным руководством инструктора. В моей работе самая опасная зона является рабочим местом станочника, поэтому во время станочных операций только один специальный оператор работает в рабочей зоне, который носит защитные очки и нельзя носить перчатки, потому что перчатки легко захватываются движущимися частями станка в процессе обработки. При очистке железных стружки необходимо использовать железную щетку.

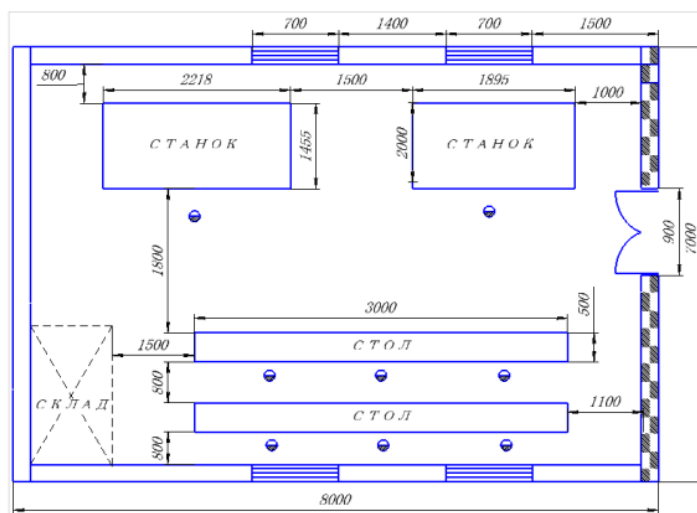


Рисунок 5.1 – Рабочее место (Аудитория 101А в 16А корпусе ТПУ)

5.2 Производственная безопасность

а) Анализ условий труда на рабочем месте

Эксперименты проводились на металлообрабатывающем оборудовании, а по измерению – на динамометр:

- 1) Токарный станок;
- 2) Динамометр Kistler.

Для идентификации потенциальных факторов необходимо использовать ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды необходимо представить в виде таблицы 5.1.

Таблицы 5.1 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1.Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений
2.Превышение уровня шума		+	+	
3.Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	+	
4.Недостаточная		+	+	

освещенность рабочей зоны				прикосновения и токов
5.Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека		+	+	
6.Движущиеся машины и механизмы, передвигающиеся заготовки и материалы;	+	+	+	

б) Анализ показателей шума и вибрации

Предельно допустимый уровень (ПДУ) шума - это уровень фактора, который при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 40 часов в неделю в течение всего рабочего стажа, не вызывает заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений. Соблюдение ПДУ шума не исключает нарушения здоровья у сверхчувствительных лиц.

Допустимый уровень шума ограничен ГОСТ 12.1.003-83 и СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002. Максимальный уровень звука постоянного шума на рабочих местах не превышает 80 дБА. Максимальный уровень звука

постоянного шума на нашем рабочем месте до 75 дБА. Основным источником шума является станки и обработки заготовки. Для снижения уровня шума, конструкцией станка предусмотрен закрытый корпус. При значениях выше допустимого уровня необходимо предусмотреть СКЗ и СИЗ.

Средства индивидуальной защиты (СИЗ):

Наиболее эффективны индивидуальные средства защиты, как правило, в области высоких частот. В качестве индивидуальных средств защиты применяют противошумные наушники, вкладыши и шлемофоны. Для высокого уровня шума применяются специальные шлемы, противошумные костюмы.

В данной работе используются противошумные наушники для защиты высокого уровня шума.

Обоснование мероприятий по снижению воздействия:

Шум от источников аэродинамического шума можно уменьшить применением виброизолирующих прокладок, установленных между основанием машины, прибора и опорной поверхностью. В качестве прокладок используют резину, войлок, пробку, амортизаторы.

Настольные шумящие аппараты, счетные, перфорационные машины можно устанавливать на мягкие коврики из синтетических материалов, а под ножки столов - прокладки из резины, войлока толщиной 6-8 мм. Крепление прокладок возможно путем приклейки их к опорным частям. Замена - через 4-5 лет (из резины) и через 2-2,5 года (из войлока).

Действие акустического экрана основано на отражении или поглощении падающих на него звуковых волн и образование за экраном области звуковой тени. Экраны изготавливают из сложных твердых листов или щитов, облицованных звукопоглощающим материалом толщиной не менее 50 мм.

в) Анализ показателей микроклимата

Микроклимат в производственных условиях определяется следующими параметрами:

- 1) температура воздуха;
- 2) относительная влажность воздуха;
- 3) скорость движения воздуха.

При высокой температуре воздуха в помещении кровеносные сосуды кожи расширяются, происходит повышенный приток крови к поверхности тела, и выделение тепла в окружающую среду значительно увеличивается. При низкой температуре окружающего воздуха реакция человеческого организма иная: кровеносные сосуды кожи сужаются, приток крови к поверхности тела замедляется, и теплоотдача конвекцией и излучением уменьшается. Таким образом, для теплового самочувствия человека важно определенное сочетание температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне.

Повышенная влажность воздуха ($\phi > 75\%$) затрудняет терморегуляцию организма, т.к. происходит снижения испарения пота, а пониженная влажность ($\phi < 20\%$) вызывает пересыхание слизистых оболочек дыхательных путей.

Оптимальные и допустимые показатели температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений соответствуют значениям, приведенным в таблице 2.2. [ГОСТ 12.1.005-88].

Для обеспечения оптимальных и допустимых показателей микроклимата в холодный период года следует применять средства защиты рабочих мест от остекленных поверхностей оконных проемов, чтобы не было охлаждения. В теплое время года необходимо обеспечить защиту от прямых солнечных лучей.

По общему энергопотреблению организма человека эти задачи делятся на три категории. Работа, связанная с разработчиками, попадает в категорию легких работ. В таблице 5.2 приведены допустимые значения микроклимата в этом случае.

Таблица 5.2– Допустимые значения микроклимата

Период года	Категория работы	Температура, ° С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	средняя	15 - 28	20 - 80	< 0,5
Теплый	средняя			

Обоснование мероприятий по снижению воздействия:

Одними из основных мероприятий по оптимизации микроклимата и состава воздуха в производственных помещениях являются обеспечение надлежащего воздухообмена и отопления, тепловая изоляция нагретых поверхностей оборудования, воздухопроводов и трубопроводов.

г) Анализ освещенности рабочей зоны

Помещения имеют как естественное, так и искусственное освещение. Вследствие того, что работа оператора по обслуживанию пульта управления радиостанцией соответствует разряду зрительной работы III б, следует соблюдать следующие требования, предъявляемые рабочему месту.

Естественное освещение осуществляется через светопроемы, обеспечивающий необходимый коэффициент естественной освещенности (КЕО) не ниже 1,2 %.

В качестве источников света при искусственном освещении применяются преимущественно люминесцентные лампы типа ЛБ.

Освещенность системы общего освещения на рабочем месте оператора составляет не менее 200 лк, а комбинированная система освещения - не менее 750 лк. Для освещения помещения чаще всего используются светильники серии ЛБ 036 с зеркальными решетками, оснащенные высокочастотными балластами (ВЧ ПРА). Применение светильников без рассеивателей и экранирующих решеток не допускается.

Как правило, яркость светильника в вертикальном и горизонтальном направлениях, перпендикулярных углу излучения в диапазоне от 50 градусов до 90 градусов, составляет не более 200 кд / м², а угол защиты светильника составляет не менее 40 градусов. Коэффициент безопасности (Кз) общего осветительного оборудования принимается равным 1,5. Коэффициент пульсации не превышает 15%, что обеспечивается использованием

газоразрядных ламп в общих осветительных приборах высокочастотных балластов (ВЧ ПРА) для всех типов ламп.

Рассчитаем искусственное освещение в помещении

Проектирование искусственного освещения рабочего места

будет сводиться к следующему:

- выбор системы освещения,
- определение необходимого числа светильников
- определение типа и размещения светильников.

Размещение светильников в помещении определяется следующими размерами, [м]:

H – высота помещения = 4;

h_c – расстояние светильников от перекрытия (свес) = 0,5;

$h_n = H - h_c$ – высота светильника над полом, высота подвеса = 3,5;

h_p – высота рабочей поверхности над полом = 0,8;

$h = h_n - h_p$ – расчётная высота, высота светильника над рабочей поверхностью = 3,5 - 0,8 = 2,7

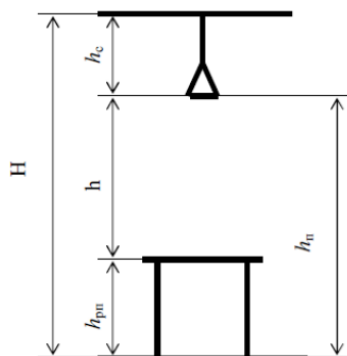


Рисунок 5.2 – Основные расчетные параметры

Рассчитываем систему общего люминесцентного освещения.

Приняв величину свеса светильника $h=2,7$ м и $\lambda=1,4$ (для ОД), определим расстояние между светильниками L :

$$L=\lambda \cdot h=2,7 \cdot 1,4= 3,78 \text{ м}$$

Необходимо изобразить в масштабе в соответствии с исходными данными план помещения, указать на нём расположение светильников и определить их число.

Расстояние I от крайних светильников или рядов до стены:

$$L/3 = 3,78/3= 1,26 \text{ м}$$

Размещаем светильники в два ряда. В одном ряду можно установить 4 светильника типа ОД мощностью 40 Вт (с длиной 1,23 м), при этом разрывы между светильниками в ряду составит 52 см. Изображаем в масштабе план помещения и размещения в нем светильников (рисунок 5.3). Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении $n = 8 \cdot 1 \cdot 2 = 16$ ламп.

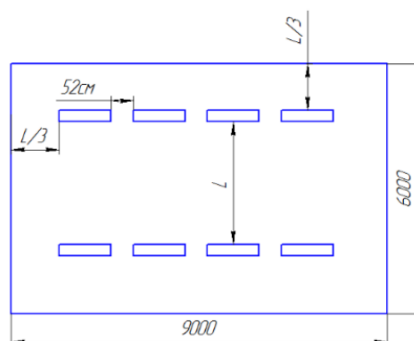


Рисунок 5.3 – План размещения светильников

Индекс помещения определяется по формуле

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)} = \frac{6 \cdot 9}{2,7 \cdot (6 + 9)} = 1,3$$

По таблице определяем коэффициент использования светового потока:
 $\eta = 0,53$.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен.

Световой поток лампы накаливания или группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\hat{O} = \frac{E_i \cdot S \cdot K_z \cdot Z}{n \cdot \eta}$$

где:

E_i – нормируемая минимальная освещённость по СНИП 23-05-95,лк;

S – площадь освещаемого помещения, м²;

K_z – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника (источника света, светотехнической арматуры, стен и пр., т.е. отражающих поверхностей), (наличие в атмосфере цеха дыма, пыли);

Z – коэффициент неравномерности освещения, отношение $E_{\text{ср.}} / E_{\text{min}}$. Для люминесцентных ламп при расчётах берётся равным 1,1;

n – число светильников;

η – коэффициент использования светового потока

Определим потребный световой поток лампы в каждом из рядов:

$$\Phi = \frac{300 \cdot 54 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{16 \cdot 0,54} = \frac{24255}{5,76} \approx 3094 \text{ Лм}$$

Рассчитав световой поток Φ , зная тип лампы, выбирается стандартная ближайшая лампа и определяется электрическая мощность всей осветительной

системы. Если необходимый поток светильника выходит за пределы диапазона (-10 ÷ +20%), то корректируется число светильников n либо высота подвеса светильников.

Выбираем стандартную ближайшую лампу – ЛТБ 40 Вт с потоком 2850 Лм. Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{2850 - 3094}{3094} \cdot 100\% \leq +20\%$$

Получаем

$$-10\% \leq -8,5\% \leq +20\%$$

Необходимый поток светильника не выходит за пределы диапазона (-10 ÷ +20%), то корректировать число светильников n либо высоту подвеса светильников нет необходимости.

Определим электрическую мощность осветительной установки:

$$P = \omega \cdot S = 40 \cdot 54 = 2160 \text{ Вт.}$$

Тогда мощность каждой лампы:

$$P_{\text{л}} = P / n = 2160 / 16 = 135 \text{ Вт.}$$

Определим электрическую мощность осветительной установки:

$$P = 16 \cdot 40 = 640 \text{ Вт.}$$

Обоснование мероприятий по снижению воздействия:

Контроль естественного и искусственного освещения в производственных помещениях следует проводить один раз в год.

В нашей рабочей области освещение является достаточным.

д) Анализ электробезопасности

Оборудование, находящееся в пределах рабочей площадки (насосы, ротор, подъемник), работает от электрического тока. Как следствие, существует вероятность поражения электрическим током рабочего. Проходя через человека электрический ток воздействует на организм следующим образом:

1) Биологическое воздействие. Выражается в раздражении и возбуждении живых клеток организма, что приводит к непроизвольным судорожным сокращениям мышц, нарушению нервной системы, органов дыхания и кровообращения.

2) Электролитическое воздействие. Проявляется в разложении плазмы крови и др. органических жидкостей, что может привести к нарушению их физико-химического состава.

3) Термическое воздействие. Сопровождается ожогами участков тела и перегревом отдельных внутренних органов, вызывая в них различные функциональные расстройства. Ожоги вызываются тепловым действием электрического тока или электрической дуги.

Обоснование мероприятий по снижению воздействия:

По электрической опасности помещение относится к категории без повышенной опасности. При эксплуатации электрического оборудования необходимо помнить о возможности случайного прикосновения или приближения к токоведущим частям и прикосновения к металлическим

нетоковедущим частям, случайно оказавшимся под напряжением, о переходе в трансформаторе высокого напряжения на низкое, о переходе тока низкой частоты в цепь высокой, об образовании электрокар, дуг или о нагреве токоведущих частей.

5.3 Анализ экологической безопасности.

Охрана окружающей среды является сложной проблемой, и наиболее активной формой её решения является снижение вредных выбросов промышленных предприятий путем полного перехода на безотходную или малоотходную технологию производства.

5.3.1 Защита селитебной зоны

В моем эксперименте не влияет на селитебную зону, потому что мой эксперимент далеко от жилых районов.

5.3.2. Анализ воздействия объекта на атмосферу

В моем эксперименте не влияет на состояние атмосферы, потому что в процессе не возникает новые вредные газы.

5.3.3 Анализ воздействия объекта на гидросферу

В моем эксперименте не влияет состояние гидросферы, потому что в процессе не использовать жидкость.

5.3.4 Анализ воздействия объекта на литосферу

В моем эксперименте не влияет состояние литосферы.

5.3.5 Разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.

При эксперименте точения стали образуются много железных стружек, мы собираем эти железные стружки и перенесем их на склад после эксперимента, а затем перевезут стружки в специализированный завод на переработку для повторного использования.

Экспериментальные инструменты и заготовки можно продолжать использовать на школьных фабриках. Больше изношенный режущий инструмента в эксперименте может быть использован в качестве типичного примера в обучении.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях:

Защита в чрезвычайных ситуациях (ЧС)

Так как г.Томск расположен в Сибири, где температура зимой опускается до опасных для человека морозов, существует риск чрезвычайной ситуации природного характера. Природная чрезвычайная ситуация — обстановка на определенной территории или акватории, сложившаяся в результате источника чрезвычайной ситуации, которая может повлечь или повлекла за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей и (или) окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей. Для того, чтобы устранить полностью или снизить ущерб от различных возможных чрезвычайных ситуаций, проводятся профилактические мероприятия, поэтому при аварии на:

– Водоканале: следует обеспечить подвоз питьевой и технической воды рабочим, если нет возможности прервать технологический цикл изготовления

деталей. Также в цеху рекомендуется иметь запас питьевой воды из расчёта 2 л/чел. в смену.

- Теплотрассе: предусмотреть обогреватели помещения, работающие от электрической сети, а также СИЗ (тёплая одежда, перчатки, шапки).

- Электросетях: следует обеспечить генератором (бензиновым или дизельным), который сможет производить ток требуемой мощности. Так же для профилактики рекомендуется:

- 1)Снабжение предприятия, учреждения, населенного пункта с двух направлений, от независимых энергоисточников. Это значительно повышает надежность, так как одновременный выход из строя двух линий передачи электроэнергии (при закольцованности) менее вероятен;

- 2)замена воздушных линий на кабельные подземные;

- Transporte: предприятие, зная механизм образования зимней скользкости, обязано не только ликвидировать ее при обнаружении в установленные сроки, но и проводить профилактические мероприятия при наличии прогноза погодных условий, являющихся причиной образования зимней скользкости на дорогах, в том числе применять меры реагирования по ее устранению после окончания выпадения осадков, не дожидаясь сообщений со стороны третьих лиц.

Пожарная безопасность

Пожарная безопасность предусматривает обеспечение безопасности людей и сохранения материальных ценностей предприятия на всех стадиях его жизненного цикла. Основными системами пожарной безопасности являются

системы предотвращения пожара и противопожарной защиты, включая организационно-технические мероприятия. Помещение относится к категории ВЗ – пожароопасное.

Среди организационных и технических мероприятий, осуществляемых для устранения возможности пожара, выделяют следующие меры:

- использование только исправного оборудования;
- проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности;
- назначение ответственного за пожарную безопасность помещения;
- отключение электрооборудования, освещения и электропитания по окончании работ;
- курение в строго отведенном месте;
- содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.

Для тушения токоведущих частей и электроустановок применяется переносной порошковый огнетушитель, например ОП-5. В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должно размещаться не менее двух переносных огнетушителей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,35 м. Размещение первичных средств пожаротушения в коридорах, переходах не должно препятствовать безопасной эвакуации людей. Здание должно соответствовать требованиям пожарной безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, порошковых или

углекислотных огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к запасному (эвакуационному) выходу(рисунок 5.4).

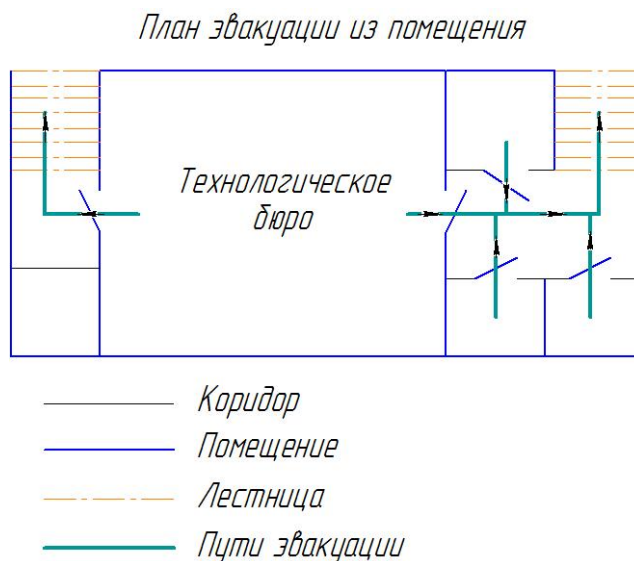


Рисунок 5.4 – План эвакуации.

Заключение по разделу социальная ответственность

В данном разделе «Социальная ответственность» были рассмотрены различные виды вредного воздействия на человека и окружающую среду, а также способы уменьшения их воздействия. К таким вредным воздействиям на организм человека относятся: вибрации, шум, недостаток освещённости, электробезопасности. В разделе приведены способы уменьшения воздействия на организм человека вредных факторов, а так же средства индивидуальной защиты для уменьшения воздействия этих факторов.

Список литературы

1. ГОСТ 12.4.154-85 “ССБТ. Устройства, экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.
2. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.

3. ГОСТ 12.4.123-83. Средства коллективной защиты от инфракрасных излучений. Общие технические требования.
4. ГОСТ Р 12.1.019-2009. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
5. ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.
6. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.
7. ГОСТ 12.2.037-78. Техника пожарная. Требования безопасности
8. ГОСТ 12.4.154. Система стандартов безопасности труда. Устройства, экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты.
9. СНиП 23-05-95 "Естественное и искусственное освещение.

6 Раздел ВКР на иностранном языке

The effect of heat treatment on the properties of steel

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ91	Тай Хуэймин		25.05.21

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Отделение материаловедения ИШНПТ, доцент	Алфёрова Е.А.	к.ф.-м.н.		25.05.21

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Отделение иностранных языков ШБИП, доцент	Айкина Т. Ю.	к.ф.н.		25.05.21

Metal heat treatment is a discipline to study the relationship between metal material composition, process and microstructure and properties. The microstructure and properties of metal materials are different when treated with different heat treatment processes. In order to get the best performance, heat treatment plays an important role in fully excavating the potential of materials and achieving the greatest economic benefits. Conventional heat treatment is usually referred to as annealing, normalizing, quenching and tempering.[11]

Annealing is the process for making material softer while producing uniform material properties. A material can be annealed by heating it to a specific temperature and then letting it slowly cool down inside an oven. This process is expensive because the oven is unusable during the cool down process.

Normalizing, like annealing, is also a process for making material softer but does not produce the uniform material properties of annealing. A material can be normalized by heating it to a specific temperature and then letting it cool to room temperature outside of the oven. This process is less expensive than annealing because the oven can be used for something else while the part is cooling down on the outside of the oven. However keep in mind that cooling down in ambient air is a lot like quenching in a liquid bath and may produce like results. (see quench tempering).

Quench Tempering is the process for making material harder. This method has been known for hundreds of years but was only perfected in the last century. The metal is heated to a specific temperature and rapidly cooled (quenched) in a bath of water, brine, oil, or air to increase its hardness

One drawback of using this method by itself is that the metal can become more brittle. This treatment is therefore typically followed by a tempering process which is another heating process at a lower specific temperature to stress relieve the material and minimize the brittleness problem. The temperature chosen for the tempering process directly impacts the hardness of the work piece. The higher the temperature in the tempering process, the lower the hardness.

The benefits of the quench tempering process is the restructuring of the crystalline nature of the metal. Metals have a specific structure at the molecular level and the material used most in the machine shop, the steels, have a structure that repeats itself throughout the material. Iron alloy structure is different depending on the temperature they are heated to. Their structure is called Body Centered Cubic when the steel is allowed to cool at a slow pace. Their structure is Face Centered Cubic when the temperature of the iron alloy is more than approximately 1400 degrees Fahrenheit . So heat-treating consist of freezing the crystalline structure obtained at high temperature by cooling the iron alloy very fast. The tempering process permits a better re-diffusion of the carbon atoms in the material and imparts ductility to the workpiece (although it reduces the hardness of the material).[12]

Oil quench and temper process offer enormous advantages to the heavy duty spring production because its treatment results can reveal optimum combination of toughness and ductility, and also improves fatigue life. Quench and temper process were used as a major heat treatment method. The resultant microstructures after quenching process are observed as martensite with small amount of retained

austenite. After the tempering process, the resulting optimum mechanical properties are found at bainitic structure.

Today oil quenched and tempered springs are widely used for heavy duty spring where high mechanical properties are the main design driver. Major requirements of the spring steel are high yield strength, high proportional limit, and high fatigue strength. These desirable properties of spring can be achieved firstly by a higher carbon content or with suitable alloying elements, and secondly by heat treatment. Steel springs are used in hard, high strength condition. To attain these properties springs are hardened and tempered.

In the harden condition, the steel should have 100% martensite to attain maximum yield strength, but it is very brittle too, and thus, as quenched steels are used for very few engineering applications. By tempering process, the properties of quench steel could be modified to decrease hardness and increase ductility and impact strength gradually. Thus the formation of martensite provides a mechanical properties. The resulting microstructures are bainite or carbide precipitates in a matrix of ferrite depending on the tempering temperature. Depending on the types of application, springs are made by carbon steels, silicon and manganese steels, silicon-manganese steels and stainless steels.

Steels represent the most important group of engineering materials as they have widest diversity of applications of any of the engineering materials. The majority of the specifications are based on the chemical composition of the steels because it indicates the required heat treatment data, i.e. phase transformation temperatures and critical cooling rate of selective alloy. Therefore, any raw material

that will be treated must be firstly analyzed to know chemical composition.

The first step in the true heat treatment cycle of steel is the austenitizing. As a homogeneous distribution of carbon and alloying element is necessary to obtain uniform properties, it is used high austenitizing temperature and suitable soaking time in order to obtain a uniform distribution of carbon and alloying elements and to minimize the enrichment of impurity elements at the grain boundaries.

The total heating time should be just enough to attain uniform temperature through the section of the part to enable not only the completion of phase transformation, but also to obtain homogeneous austenite. It should not be longer to cause grain growth, oxidation, and decarburization. Therefore the steel must be held at the hardening temperature as short a period of time as possible, generally calculated on the basis of one hour per inch of wire diameter. Moreover, measures should be taken to prevent decarburization, though they are the simplest ones, such as covering the bottom of the furnace with charcoal or used carburizing compound.

After soaking at that hardening temperature, the steel specimen must be cold quenched at a rate faster than its critical cooling rate to attain martensite. After holding for the desired length of time in the hardening temperature, specimens are taken out for cooling in oil. The temperature of the quenching oil should be maintaining around 60° C. The oil should have a good fluidity to increase heat transfer rate and it should be free from water.

The final step of this heat treatment cycle is tempering. Tempering is the process of heating the hardened steel to a temperature maximum up to lower critical temperature (A_1), soaking at this temperature, and then cooling, normally very

slowly. The following four stages define the strength, hardness and toughness required in service application:

1. First stage of tempering : Up to 200°C: Precipitation of ϵ (epsilon) carbide due to decrease of tetragonality of martensite.
2. Second stage of tempering: 200°C to 300°C: Decomposition of retained austenite.
3. Third stage of tempering: 200°C to 350°C: Formation of rod or plates of cementite with complete loss of tetragonality of martensite and dissolution of ϵ carbide.
4. Fourth stage of tempering: 350°C to 700°C: Coarsening and spheroidisation of cementite along with recovery and recrystallisation of ferrite. The selective spring steel is tempered in the temperature range of 400°C~550°C in this paper.

The desired properties and structures depend on tempering temperature and time.[33]

Most of the problems in heat treated parts are attributed to faulty heat treatment practices (such as overheating and burning, and nonuniform heating and quenching), deficiency in the grade of steels used, part defect, improper grinding, and/or poor part design.

Most of these conditions result in a characteristic appearance of the treated parts that can be easily recognized by simple inspection. Some of these factors do not produce any distinguishing features in the semifinished or finished part. In particular, some of the visual evidence does not recognize the presence of

overheating and burning and the development of residual stresses leading to distortion, quench cracking, and eventual failure of the heat-treated parts; metallurgical laboratory examination is needed to establish these problems that contribute significantly to the service performance of the part. Tool designers must also be aware of the problems and difficulties in manufacture, heat treatment, and use.

Detection and Effects of Burning

Burning is not commonly encountered. The two etchants (namely, nitric-sulfuric acid and ammonium nitrate solution) used for reheating can be successfully employed for detecting burning. When applied to burned steels, these etchants react in a manner opposite to that of overheated steels. Preece and Nutting [14] found ammonium nitrate solution to be the ideal reagent to detect this phenomenon. Other reagents are Stead's and Oberhoffer's reagents, which may also be used to check the burning effect. However, these etchants are unable to differentiate between overheated and nonoverheated steels.

Factors Affecting Overheating

The occurrence and severity of overheating depend principally on important factors, notably steel composition, temperature, cooling rate, and method of manufacture.

Composition. Sulfur is the constituent that greatly influences overheating. For steels with less than 0.002 wt% sulfur, overheating does not occur; this is because of the very low volume fraction of sulfides formed. However, the commercial production of such very-low-sulfur steels (for example, ESR steels) is expensive.

Above this level of sulfur, the overheating onset temperature rises with the increasing amount of sulfur. It has now been explained that steels with low sulfur content (0.01 to 0.02%) are more prone to this defect than those with high sulfur content (>0.3%) because the transgranular strength is high, and therefore a small amount of grain-boundary sulfide precipitation is enough to induce intergranular failure. The phosphorus content has been regarded with the most concern in connection with burning. At constant phosphorus level, there is an increase in the overheating temperature with the increase of sulfur content, whereas the burning onset temperature decreases. Burning temperature is reduced with the increase in phosphorus content. At low sulfur contents, a wide gap between overheating and burning temperatures exists. For example, in the case of vacuum remelted steels, the temperature gap between the onset of overheating and burning is -300 to 400 °C (-570 to 750 °F) and there is a remote possibility of burning occurring within the forging range, unless the overheating is severe. However, at high sulfur content the gap becomes narrow.

Temperature. To avoid overheating, care must be exercised in choosing a correct heating temperature so that uneven heating, flame impingement, and so forth, do not occur.

Cooling Rates. The cooling rate through the overheating range affects the size and dispersion of intergranular α -MnS particles. The intermediate cooling rate generally employed, 10 to 200 °C/min (20 to 360 °F/min), gives rise to maximum faceting as well as to the greatest loss in impact strength. However, slow and rapid cooling rates will suppress overheating. At very slow cooling rates, the sulfide

particles become large, small in number, and more widely dispersed, and they have no more deleterious effects than the other inclusions already present. At rapid rates, the sulfide inclusions are too fine to produce any damaging effect.

Methods of Manufacture. Electroslagremelted steels are less susceptible than vacuum-remelted steels, presumably due to the difference in oxygen level. Similarly, nickel steels are more prone to overheating. Vacuum-remelted steels have a lower overheating temperature than some comparable air-melted steels.

Effects of Residual Stress. The major effects of residual stress include dimensional changes and resistance to crack initiation. Dimensional changes occur when the residual stress (or a portion of it) in a body is eliminated. In terms of crack initiation, residual stresses can be either beneficial or detrimental, depending on whether the stress is tensile or compressive.

Distortion in Heat Treatment

Distortion can be defined as an irreversible and usually unpredictable dimensional change in the component during processing from heat treatment and from temperature variations and loading in service. The term dimensional change is used to denote changes in both size and shape. The heat-treatment distortion is therefore a term often used by engineers to describe an uncontrolled movement that has occurred in a component as a result of heat-treatment operation. Although it is recognized as one of the most difficult and troublesome problems confronting the heat treater and the heat-treatment industries on a daily basis, it is only in the simplest thermal heat-treatment methods that the mechanism of distortion is understood. Changes in size and shape of tool-steel parts may be either reversible or irreversible.

Reversible changes, which are produced by applying stress in the elastic range or by temperature variation, neither induce stresses above the elastic limit nor cause changes in the metallurgical structure. In this situation, the initial dimensional values can be restored to their original state of stress or temperature.

Types of Distortion. Distortion is a general term that involves all irreversible dimensional change produced during heat-treatment operations. This can be classified into two categories: size distortion, which is the net change in specific volume between the parent and transformation product produced by phase transformation without a change in geometrical form, and shape distortion or warpage, which is a change in geometrical form or shape and is revealed by changes of curvature or curving, bending, twisting, and/or nonsymmetrical dimensional change without any volume change. Usually both types of distortion occur during a heat-treatment cycle.

Examples of Distortion

Ring Die. Quenching of ring die through the bore produces the reduction in bore diameter as a result of formation of martensite, associated with the increased volume. In other words, metal in the bore is upset by shrinkage of the surrounding metal and is short when it cools. However, all-over quenching causes the outside diameter to increase and the bore diameter to increase or decrease, depending upon precise dimensions of the part. When the outside diameter of the steel part is induction or flame-hardened (with water quench), it causes the part to shrink in outer diameter. These are the examples of the effect of mode of quenching on distortion.

Thin die (with respect to wall thickness) is likely to increase in bore diameter, decrease in outside diameter, and decrease in thickness when the faces are hardened.

If the die has a very small hole, insufficient quenching of the bore may enlarge the hole diameter because the body of die moves with the outside hardened portion.

Bore of Finished Gear. Similarly, the bore of a finished gear might turn oval or change to such an extent that the shaft cannot be fitted by the allowances that have been provided. Even a simple shape such as a diaphragm or orifice plate may, after heat treatment, lose its flatness in such a way that it may become unusable.

Precautions

Inadequate support during the heat-treatment cycle, poorly designed jigs and quenching fixtures, or incorrect loading of the parts may cause distortion. In general, plain-carbon and low-alloy steels have such a low yield strength at the hardening temperature that the parts are capable of distorting under their own weight. Every care, therefore, must be taken to ensure that parts are carefully supported or suspended during heating; long parts are preferably heated in a vertical furnace or with the length in the vertical plane . They should be quenched in the vertical position with vertical agitation of the quenchants. Also, it must be remembered that many tool steels are spoiled by failure to provide enough support when they are taken out from the furnace for quenching. Thus, every precaution is taken to ensure that parts are adequately supported during entire heat treatment by employing well-designed jigs, fixtures, and so on.

Methods of Preventing Distortion

Straightening is one method to remove or minimize distortion. Since straightening (after hardening) can largely relieve the desirable residual compressive stresses (in plaincarbon and low-alloy steels) that may cause breakage, it would be

better to accomplish this before the steel cools below the M_s temperature, that is, when the steel is in the metastable austenitic state. This temperature is above $260\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($500\text{ }^{\circ}\text{F}$) for most tool steels and is preferably about $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($750\text{ }^{\circ}\text{F}$) for long shear knives, which are usually made of 2C-12Cr steel. Warping on parts such as shafts and spindles can be corrected by straightening during or after hardening, followed by grinding to size. Mostly high-alloy steels are straightened after hardening due to the higher percentage of retained austenite and their comparatively low yield stress. Straightening also can be accomplished during the tempering process. However, straightening of hardened parts with higher strength will cause a loss of fatigue properties and possibly initiation of cracks at the surface. Hence, straightening after the hardening treatment must be very carefully controlled and should be followed by a low-temperature tempering treatment.

The case-hardened (for example, nitrided, carburized) parts can be straightened to a very large extent as a result of their lower core hardness. Nitrided parts may be straightened at $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($750\text{ }^{\circ}\text{F}$).

Support and Restraint Fixtures. Fixtures for holding finished parts or assemblies during heat treatment may be either support or restraint type. For alloys that are subjected to very rapid cooling from the solution treatment temperature, it is common practice to use minimum fixturing during solution treatment and to control dimensional relations by using restraining fixture during aging. Support fixtures are used when restraint type is not needed or when the part itself renders adequate self restraint. Long narrow parts are very easily fixtured by hanging vertically. Asymmetrical parts may be supported by placing on a tray of sand or a ceramic

casting formed to the shape of the part. Restraint fixtures may require machined grooves, plugs, or clamps. Some straightening of parts can be accomplished in aging fixtures by forcing and clamping slightly distorted parts into the fixture. The threaded fasteners for clamping should not be used because they are difficult to remove after heat treatment. It is preferable to use a slotted bar held in place by a wedge. The bore of a hub, the most important dimension in the hardening of thin spur gears, can be mechanically plugged to prevent the reduction of the bore and keep the out-of-roundness close to tolerance limits. When hardening large hollows, either restraining bands on the outside during tempering or articulated fillers serve the same purpose.

Pressure quenching is the most efficient method of cooling parts from elevated temperature by using a combination of high pressure (such as 5 MPa, or 5 atm) and turbulent gas flow throughout the entire surface area of the workload. This is economical and fast, provides even cooling, offers a unique design and minimum distortion and improved metallurgical qualities. As a result of these beneficial effects this is suited to quench large-diameter tooling for the aluminum extrusion industry; quench larger-diameter carburized gear, larger fasteners, and precision gears to be jigged vertically; harden high-speed steel tools (such as saw blades, dies, and other parts with edge configuration) and 718 jet engine compressor blades. This is also employed to quench (vacuum processed) large sections of titanium alloy castings for aircraft applications. Figure 1 is a pressure-quench module that may be attached to vacuum-sealed quenched and continuous-vacuum furnace as a replacement for the oil-quench section.

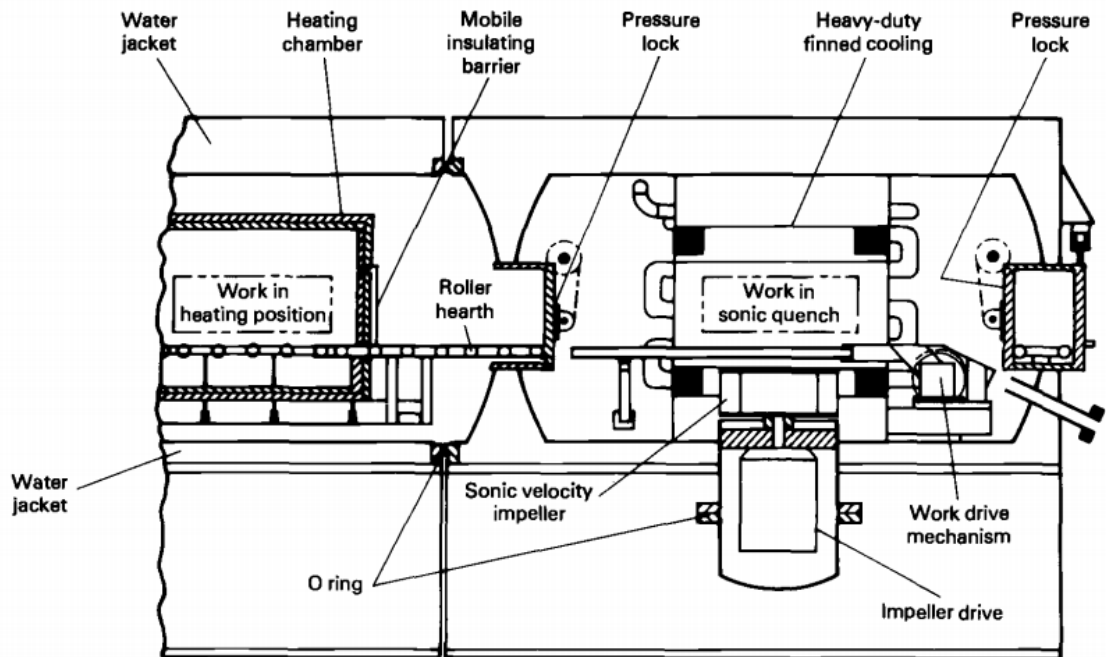


Fig 1 Pressure-quench module for attachment into standard vacuum-sealed quenched and continuous vacuum furnaces

Importance of Design

The wrong design of the tool material may result in the establishment of nonuniform heating and cooling of the components, which produces overload and/or internal stresses leading to distortion and failure during or after hardening. Correct consideration at the design stage plays an important role in lessening the distortion and danger of cracking. The basic principle of successful design is to plan shapes that will minimize the temperature gradient through the part during quenching. Fundamental rules such as maintaining a simple, uniform, regular, and symmetrical section with comparatively few shape changes, ensuring small and smooth cross-sectional size changes, and using large radii are still too frequently overlooked at the design stage. Thus, successful heat treatment demands a rational design that avoids sharp corners as well as sudden and undue changes of section.

It is often possible for tool designers to compensate for size distortion. For example, in preparing precision hobs for gear cutting, dimensional accuracy must be

kept within very close tolerances. On linear longitudinal growth, it is the general practice to go out-of-round in the following high-speed steel bars as much as 0.3% in M1 type, 0.2% in M2 type, and 0.15% in T1 type during heat treatment. These data will alter slightly with changes in design of the hobs, but essentially the growth in tungsten-base high-speed steel is lower than that of the molybdenum-base high-speed steel (M1 and M2). This does not require any difficulty if the growth is compensated for and if the steel is consistent in its growth. The distortion produced in the surface hardening of long shafts by the scanning method can be a great problem if the equipment is not in very good condition. Due consideration must be given so that locating centers run concentrically, in line and at the appropriate speed; the coil must be accurately aligned, and the quench must be correctly designed with sufficient number of holes of suitable size and angle. For long shafts with a relatively small diameter (for example, halfshafts, which are likely to distort), the use of hydraulically operated restraining rolls usually overcomes this.[15]

Список литературы

1 Чжан Чжэнгуй, Ниу Цзяньпин. Материалы практического машиностроения. – Пекин: Машиностроение, 2014. – 339 с.

2 ГОСТ 14959-79. Прокат из рессорно-пружинной углеродистой и легированной стали. Технические условия. Дата введения 01.01.1981.

URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/3921/>.

3 ГОСТ 4543-71. Прокат из легированной конструкционной стали. Технические условия. Дата введения 01.01.1973.

URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/42481/>.

4 Htun, Min & KYAW, Si & Lwin, Kay. (2008). Effect of Heat Treatment on Microstructures and Mechanical Properties of Spring Steel. Journals of Metals, Materials and Minerals. 18.

5 Jiang Ting, Wang Kaizhong, Yu Tongren, Gong Mengqiang, Zhang Xiaorui. The effect of heat treatment process on the mechanical properties and microstructure of spring steel 55SiCrV[J]. Heat Treatment of Metals, 2019, 44(10):96-99.

6 Титов А.В. Влияние режимов термической обработки на микроструктуру пружин ответственного назначения из стали 60С2А и титанового сплава ВТ16. Металлообработка. 2015. № 5 (89). С. 43-49.

7 Скворцов В.Ф. Основы размерного анализа технологических процес-сов изготовления деталей: Учебное пособие. –Томск: Изд. ТПУ, 2006. -100 с.

8 Справочник технолога машиностроителя. В двух томах. Том 2. Под редакцией А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова, А.М. Дальского и А.Г. Сулова.

Пятое издание, исправленное. 2003. -943 с, илл.

9Арутюнова Д.В. Стратегический менеджмент Учебное пособие / Д.В. Арутюнова – Таганрог, Изг-во ТТИ ЮФУ, 2010. 122 с.

10Криницына З.В. финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / З.В. Криницын, И.Г. Видяев,; Томский политехнический университет. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.

11 Huang Guiyun, Li Yong, Xiong Yakun. Effect of Heat Treatment on Microstructure and Properties of Steel. 2018 7th International Conference on Advanced Materials and Computer Science (ICAMCS 2018)

12 **Ronald Smith. Heat Treating .**

URL: http://www.jjjtrain.com/3engineering/3eng_heat_treat/_00.html

13 Htun, Min & KYAW, Si & Lwin, Kay. (2008). Effect of Heat Treatment on Microstructures and Mechanical Properties of Spring Steel. Journals of Metals, Materials and Minerals. 18.

14 A. Preece and J. Nutting, J. Iron Steel Inst., Vol 164, 1950, p 46-50

15 Anil Kumar Sinha, Bohn Piston Division. Defects and Distortion in Heat-Treated Parts. ASM Handbook Committee, p 601-619